



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG B
PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN
ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE
SISTEM GANDA**

**RICKO REFANDA
3115 040 630**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG B
PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN
ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE
SISTEM GANDA**

**RICKO REFANDA
3115 040 630**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**PROGRAM DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL LANJUT JENJANG
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT APPLIED - RC146599

**The Structural Design Of Program
Information Technology And Computer
Science Building B Brawijaya University Of
Malang By Using The Dual System Method**

**RICKO REFANDA
3115 040 630**

**Consellor Lecturer
Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., Ph.D
NIP. 19630726 198903 1 003**

**DIPLOMA IV PROGRAM of CIVIL ENGINEERING EXTENSION
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG B PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG DENGAN MENGUNAKAN METODE SISTEM GANDA

PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
pada
Program Diploma IV Teknik Sipil Lanjut Jenjang
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Mahasiswa



RICKO REFANDA
NRP. 3115 040 630



Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing Proyek Akhir Terapan

23 JAN 2017

Prof. Dr. M. Sigit Darmawan, M.EngSc., PhD
NRP. 19630726 198903 1 003

SURABAYA, JANUARI 2017

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM LANJUT JENJANG DIPLOMA IV
 TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

No. Agenda :
 080073/IT2.3.1.1/PP.05.01/2016

Tanggal : 13 Januari 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang dengan Menggunakan Metode Sistem Ganda		
Nama Mahasiswa	Ricko Refanda	NRP	3115040630
Dosen Pembimbing 1	Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc., PhD NIP 19630726 198903 1 003	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> - Laku balok judul TAT ✓ - Tug Geni check kembali (buku) ✓ - Tug Geni Kabin check ✓ - Cek Tug lantai kua + kua ✓ 	 Nur Achmad Husin, ST. MT NIP 19720115 199802 1 001
<ul style="list-style-type: none"> - Cek plat nomor kembali ul 1 lantai ✓ - Nohot tgl gen shear wall ✓ - Jarak single < 100 mm ✓ - Absorbt mengikat bates upper Vmax ✓ 	 Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003
<ul style="list-style-type: none"> - Perhitungan penguat balok pada overlap ✓ - Gya plat ul 1 lantai ✓ - Penguat penguat balok ✓ 	 Ir. Sukobar, MT NIP 19571201 198601 1 002
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI					
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
 Nur Achmad Husin, ST. MT NIP 19720115 199802 1 001	 Ir. Munarus Suluch, MS NIP 19550408 198203 1 003	 Ir. Sukobar, MT NIP 19571201 198601 1 002	NIP -	 Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc., PhD NIP 19630726 198903 1 003	NIP -

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



ASISTENSI PROYEK AKHIR

Nama : 1 RICKO REFANDA 2
NRP : 1 3115040630 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 8 PROGRAM
TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS
BRANJAWATA MALANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM SANDA
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M. Eng Sc., Ph.D

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	15- Sept - 2016	- Di. ely. Cn. fia. e - Refer. s TA 15 lb		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	17/10 - 2016	- Bed. g. nesp- spektr dan. Pusk. - Permodelan Shear Wall		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	24/10 - 2016	El. Periode Bangs		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	2/11 - 2016	Shear Wall d. d. v. d. d.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	9/11 - 2016	+ Kontrol model struktur - Perhitungan Analisa struktur		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 RICKO REFANDA 2
NRP : 1 3115040630 2
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN STRUKTUR GEUNG B PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS ERRAWIJAYA MALANE DENGAN MENGELOKAN METODE SISTEM GANDA
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit Darmawan, M.Eng.Sc., Ph.D

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
6.	23/11 - 2016	- Cek analisa pemodelan.				
		- Cek perhitungan desain str.				
		- Lanjutkan Gambar Desain.		B	C	K
		- Lanjutkan perhitungan RAB.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	14/12 - 2016	- Perbaiki penulisan draft				
		- Perbaiki gambar desain.		B	C	K
		- Cek perhitungan RAB dan perbaiki		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	28/12 - 2016	- Perbaiki gambar desain.		B	C	K
		- Perbaiki PPT.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Persiapan sidang.				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG B PROGRAM
TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG DENGAN
MENGUNAKAN METODE SISTEM GANDA**

Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc., PhD
NIP. 19630726 198903 1 003

Mahasiswa : Ricko Refanda
NRP. 3115 040 630

Abstrak

Gedung kuliah ini terdiri dari 14 lantai seluas 16.848 m² yang terletak di Universitas Brawijaya Malang. Bangunan ini diharapkan dapat menjadi solusi mengatasi meningkatnya jumlah mahasiswa setiap tahunnya. Pembahasan dalam proyek akhir terapan ini difokuskan pada struktur atas bangunan dan tidak menghitung struktur bangunan bawah. Dengan tujuan dari penyusunan laporan proyek akhir terapan ini ialah untuk merancang struktur atas bangunan serta melakukan perbandingan rancangan anggaran biaya pada struktur utama dengan data yang telah didapat.

Perhitungan struktur terhadap beban gempa menggunakan metode sistem ganda mengacu pada SNI 1726-2012 yaitu menggabungkan kinerja antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Sedangkan pembebanan non gempa disesuaikan dengan SNI 1727-2013. Pemodelan struktur untuk memperoleh analisa gaya dalam menggunakan aplikasi komputer *SAP 2000*. Analisa elemen struktur yang berupa beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2013 dan penggambaran struktur bangunan menggunakan aplikasi komputer *AutoCad 2014*.

Dari hasil analisa perancangan struktur, dinding geser mampu menahan beban lateral yang terjadi pada struktur bangunan gedung. Dengan menggunakan sistem ganda dampak dinding geser

dalam memikul gempa berpengaruh signifikan pada rangka struktur utama bangunan. Hal tersebut dapat diketahui dari gaya dalam dan jumlah tulangan yang didapat. Terjadi penurunan presentase tulangan pada struktur utama yang terdapat dinding geser sebesar 16% dalam memikul beban gempa dibandingkan dengan struktur yang hanya menggunakan sistem rangka pemikul momen saja sebagai penahan beban gempa.

Dari perhitungan diperoleh kebutuhan tulangan pada portal dengan adanya dinding geser dengan mengalami penurunan presentase sebesar 16% pada portal utama X dan 16% pada portal utama Y. Hal tersebut mempengaruhi untuk biaya pembangunan struktur menjadi berkurang. Sehingga, pada perencanaan struktur gedung sudah efisien baik dari segi kekuatan dan keamanan gedung dalam menahan gaya lateral (gempa) maupun dari segi biaya material. Faktor utama dalam merancang gedung ialah keamanan serta kemampuan layan sesuai fungsi gedung, dengan demikian metode sistem ganda ini bisa efektif untuk digunakan.

Kata kunci : aman, biaya, gempa, pemodelan struktur, sistem ganda, struktur beton, 14 lantai

The Structural Design of Program Information Technology and Computer Science Building B Brawijaya University of Malang by Using The Dual System Method

Supervisor : Prof. Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc., PhD
NIP. 19630726 198903 1 003
Student : Ricko Refanda
NRP. 3115 040 630

Abstract

The 16,848-m² building consisting of 14 floors in Brawijaya University of Malang is expected to be a solution to overcome the increasing number of student every year. In the discussion of the study is focus to upper structure and not calculations lower structure. The objective of the study is to design the upper structure building and comparison budget plan expenses at the super structure with data of existing.

The calculations of the earthquake using the method dual system referred to SNI 1726-2012 is combining performance between open frame with shear wall. While load of non earthquake referred to SNI 1727-2013. Modelling structure to obtain an analysis of inner forces used SAP 2000 computer applicatons. The analysis element of structure constructed with concrete referred to SNI 2847:2013 and while Auto Cad 2014 computer applications were employed for the technical drawings.

The results of the analysis structure, shear wall can resist of lateral load in building. By using the method dual system impact of shear wall for resist earthquake is influential significant in open frame of the super structure of buildings. It could know from analysis of inner forces and total of steel in structure. A decline in the steel bars precentage in super stucture building with shear wall is about 16% to resisting earthquake compared with the structure

by only using open frame system to resisting earthquake in building.

The calculations needs of steel bars in dual system decreases precentage 16% to primer structure direction X and 16% to primer structure direction Y. It is impact to be reduce price constructions of structure. In structure planning of building is efficient from the price and strenght to resisting earthquake. Main factor structure planning of building is safety and the ability control according to function building. It can be concluded that the design using dual system are respectively safe.

Key words : concrete structure, dual system, earthquake, modelling structure, price, safe, 14 floors

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang Dengan Menggunakan Metode Sistem Ganda”.

Tersusunnya proyek akhir terapan ini, tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu, disampaikan terima kasih kepada Allah SWT, atas semua anugerah dan pertolongan yang tak terkira. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai penyemangat terbesar, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materil, serta doanya.
2. Bapak Dr. Machus, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Diploma IV Teknik Sipil.
3. Prof. Ir. M.Sigit Darmawan, M.EngSc., PhD selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir terapan ini.
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proyek akhir terapan ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proyek akhir terapan ini.

Akhir kata, besar harapan penulis agar proyek akhir terapan yang telah disusun ini dapat memenuhi persyaratan sebagaimana mestinya dan dapat bermanfaat bagi penulis serta bagi pembaca dikemudian hari.

Surabaya, 13 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Perancangan Bangunan Tahan Gempa	5
2.2 Struktur Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	6
2.3 Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	7
2.3.1 Perencanaan Dinding Geser	9
2.3.2 Pola Keruntuhan Dinding Geser.....	10
2.3.3 Stabilitas Dinding Struktur	11
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen	12
2.5 Rencana Anggaran Biaya	21
2.5.1 Biaya Langsung (<i>Direct Cost</i>).....	21
2.5.2 Biaya Tidak langsung (<i>Indirect Cost</i>)	22

2.5.3	Penyusunan Anggaran Biaya Proyek.....	22
BAB III	METODE PERANCANGAN	25
3.1	Metode Perancangan Struktur Gedung	25
3.2	Data Perancangan Bangunan	28
3.2.1	Data Umum	28
3.2.2	Data Khusus.....	28
3.2.3	Data Tanah.....	28
3.2.4	Data Gambar Perancangan Bangunan	28
BAB IV	PRELIMINARY DESIGN.....	35
4.1	Data Desain Preliminary	35
4.2	Preliminary Desain Balok.....	35
4.2.1	Balok Induk (B1)	37
4.2.2	Balok Anak (B2).....	37
4.2.3	Balok Kantilever (B3)	37
4.3	Preliminary Desain Pelat	38
4.3.1	Kontrol Tebal Pelat (diambil contoh ukuran panel t 480/360).....	41
4.4	Preliminary Desain Kolom	43
4.5	Preliminary Desain <i>Sloof (Tie Beam)</i>	47
4.6	Preliminary Desain Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	48
BAB V	ANALISA PEMBEBANAN.....	51
5.1	Beban Gravitasi.....	51
5.1.1	Beban Mati (D).....	51
5.1.2	Beban Hidup (LL)	52
5.2	Beban Gempa.....	53

5.3	Kombinasi Pembebanan	66
BAB VI	ANALISA PEMODELAN	69
6.1	Pemodelan Struktur dengan Sistem Ganda (<i>Dual System</i>).....	69
6.2	Besaran Massa	70
6.3	Peninjauan Terhadap Pengaruh Gempa.....	71
6.4	Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis	71
6.5	Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respon Spektrum <i>SAP 2000</i> untuk Sistem Ganda	72
6.6	Kontrol Perioda Fundamental Sistem Ganda.....	73
6.7	Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur ..	76
6.8	Kontrol Dual Sistem	79
6.9	Kontrol Simpangan Antar Lantai.....	80
BAB VII	DESAIN STRUKTUR BANGUNAN.....	83
7.1	Desain Struktur Pelat Lantai.....	83
7.1.1	Perhitungan Nilai β_1	83
7.1.2	Menentukan Tipe Pelat Lantai.....	83
7.1.3	Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai ..	84
7.1.4	Perhitungan Gaya Dalam Pelat Lantai	85
7.1.5	Perhitungan Tulangan.....	85
7.2	Desain Struktur Tangga	90
7.2.1	Perhitungan Gaya Dalam Pelat Tangga... ..	91
7.2.2	Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai ..	91
7.2.3	Perhitungan Tulangan Pelat Tangga Dan Bordes.....	91
7.3	Analisa Struktur Balok	95

7.3.1	Perhitungan Gaya-Gaya Dalam Pada Balok	98
7.3.2	Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa.....	101
7.3.3	Perhitungan Tinggi Efektif Balok.....	101
7.3.4	Perhitungan Rasio Tulangan.....	101
7.3.5	Perhitungan Tulangan Torsi Balok.....	102
7.3.6	Perhitungan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur	107
7.3.7	Perhitungan Tulangan Geser Balok.....	123
7.3.8	Panjang Penyaluran	130
7.4	Analisa Struktur Kolom.....	131
7.4.1	Cek Syarat Gaya Terfaktor Kolom.....	133
7.4.2	Cek Konfigurasi Penulangan	133
7.4.3	Cek Syarat <i>Strong Coloumn Weak Beam</i>	134
7.4.4	Desain Tulangan <i>Confinement</i>	142
7.4.5	Perhitungan Gaya Geser Desain (V_e).....	145
7.4.6	Perhitungan Sambungan Lewatan	149
7.5	Hubungan Balok dengan Kolom (HBK).....	151
7.5.1	Cek Syarat Panjang <i>Joint</i>	151
7.5.2	Perhitungan Luas Efektif <i>Joint</i> (A_j)	151
7.5.3	Penulangan Transversal Untuk <i>Confinement</i>	152
7.5.4	Perhitungan Gaya Geser Pada <i>Joint</i>	153
7.5.5	Gaya Geser Pada Daerah <i>Joint</i> (V_j).....	154
7.5.6	Cek Kuat Geser Pada <i>Joint</i>	154

7.6	Analisa Struktur Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	155
7.6.1	Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser	156
7.6.2	Menentukan Kebutuhan Baja Tulangan Vertikal dan Horisontal Minimum	157
7.6.3	Kuat Geser Dinding Struktural	158
7.6.4	Perencanaan Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur	159
7.6.5	Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (<i>Special Boundary Element</i>)	160
7.6.6	Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus	161
7.6.7	Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal Pada Daerah <i>Special Boundary Element</i>	162
7.6.8	Tulangan <i>Confinement Shear Wall</i>	162
7.6.9	Panjang Penyaluran Tulangan	165
7.7	Rancangan Anggaran Biaya Struktur Utama Gedung	166
7.7.1	Analisa Perbandingan Pekerjaan Pembesian	170
BAB VIII	PENUTUP	171
8.1	Kesimpulan	171
8.2	Saran	173
DAFTAR PUSTAKA		175
LEMBAR REVISI		
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Desain Struktur “Strong Column Weak Beam” dengan Dinding Geser.	6
Gambar 2.2	Deformasi Struktur Terhadap Beban Lateral.....	7
Gambar 2.3	Klasifikasi Kategori Desain Seismik.....	12
Gambar 2.4	Syarat Tulangan Longitudinal pada Komponen Struktur Lentur	14
Gambar 2.5	Syarat Sengkang Pada Komponen Struktur Lentur	15
Gambar 2.6	Sengkang Pada Komponen Struktur Lentur	15
Gambar 2.7	Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur.....	16
Gambar 2.8	Syarat Desain Pada Kuat Lentur Kolom.....	17
Gambar 2.9	Syarat Tulangan Transversal pada Kolom.....	18
Gambar 2.10	Gaya dan Desain Penampang pada HBK	19
Gambar 2.11	Kuat Geser untuk Hubungan Balok dan Kolom	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Perencanaan.	27
Gambar 3.2	Data Boring Tanah.....	29
Gambar 3.3	Denah Semi Besmen.....	30
Gambar 3.4	Denah Lt.1-3 <i>Typical</i>	30
Gambar 3.5	Denah Lt.4 – 13 <i>Typical</i>	31
Gambar 3.6	Potongan A-A	31
Gambar 3.7	Potongan B-B	32
Gambar 3.8	Potongan C-C	32
Gambar 3.9	Tampak Utara	33
Gambar 3.10	Tampak Timur	33
Gambar 4.1	Tinjauan Balok	36
Gambar 4.2	Detail Tinjauan Balok.....	36
Gambar 4.3	Potongan Melintang Balok Interior	39
Gambar 4.4	Potongan Melintang Balok Eksterior.....	40
Gambar 4.5	Tinjauan Pelat Lantai.....	41
Gambar 4.6	Tinjauan Sloof	47
Gambar 4.7	Detail Tinjauan Sloof.....	47

Gambar 5.1	Peta Untuk S_1 ($T=1s$, probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)).....	54
Gambar 5.2	Peta Untuk S_s ($T=0,2s$, probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%))	54
Gambar 5.3	Ketentuan Penggambaran Grafik Respon Spektrum.....	60
Gambar 5.4	Grafik Respon Spektrum	63
Gambar 5.5	Grafik Respon Spektrum Website Puskim untuk Daerah Kota Malang	65
Gambar 5.6	Grafik Respon Spektrum dari Data Puskim.....	66
Gambar 6.1	Pemodelan Struktur 3D.....	69
Gambar 6.2	Denah Rencana Lokasi <i>Shear Wall</i>	70
Gambar 6.3	Input form <i>Mass Source</i> untuk analisa modal pada <i>SAP 2000</i>	71
Gambar 6.4	Form Input untuk Analisa Modal <i>SAP 2000</i>	71
Gambar 6.5	Faktor Skala Gaya RS-X.....	72
Gambar 6.6	Faktor Skala Gaya RS-Y.....	73
Gambar 6.7	Modal Load Participation Ratio.....	74
Gambar 6.8	Perioda dari Program <i>SAP 2000</i>	75
Gambar 6.9	<i>Base Reaction</i> dari Program <i>SAP 2000</i>	78
Gambar 6.10	<i>Base Reaction</i> dari Program <i>SAP 2000</i> Setelah Dikalikan Pembesaran Faktor Skala Gaya.....	79
Gambar 7.1	Panel Yang Ditinjau.....	84
Gambar 7.2	Ukuran Detail Panel Pelat.....	84
Gambar 7.3	Tinggi Efektif Pelat Lantai	85
Gambar 7.4	Denah Rencana Pelat Lantai	89
Gambar 7.5	Detail Pelat Lantai S10	89
Gambar 7.6	Denah Penempatan Tangga Pada Lantai 1.....	90
Gambar 7.7	Denah Tangga Pada Lantai 2	90
Gambar 7.8	Detail Tangga Pada Lantai 1	95
Gambar 7.9	Denah Balok memanjang 40/70 pada Lt.3.....	97
Gambar 7.10	Potongan Untuk Lokasi Balok memanjang 40/70 pada Lantai 3.....	98
Gambar 7.11	Tekan maksimum.....	98
Gambar 7.12	Momen Kiri Tumpuan (-) Dari Muka Kolom....	99

Gambar 7.13	Momen Kiri Tumpuan (+) Dari Muka Kolom...	99
Gambar 7.14	Momen Lapangan Di Tengah Bentang.....	99
Gambar 7.15	Momen Kanan Tumpuan (-) Dari Muka Kolom	99
Gambar 7.16	Momen Kanan Tumpuan (+) Dari Muka Kolom	99
Gambar 7.17	Geser Kiri Tumpuan Dari Muka Kolom.....	99
Gambar 7.18	Geser Lapangan Kiri Dari 2h Dari Muka Kolom	100
Gambar 7.19	Geser Lapangan Kanan 2h Dari Muka Kolom	100
Gambar 7.20	Geser Kanan Tumpuan Dari Muka Kolom.....	100
Gambar 7.21	Torsi Terbesar Yang Ditinjau	100
Gambar 7.22	Luasan Acp dan Keliling Pcp	102
Gambar 7.23	Luasan Aoh dan Keliling Ph.....	103
Gambar 7.24	Keterangan Untuk Panjang Penyaluran	130
Gambar 7.25	Detail Penulangan Pada Balok.....	131
Gambar 7.26	Denah Kolom 1000/1000 Pada Lantai 3.....	132
Gambar 7.27	Potongan Untuk Lokasi Balok memanjang 40/70 pada Lantai 3	132
Gambar 7.28	Lebar Efektif Balok	134
Gambar 7.29	Gaya Dalam Pada Kolom	137
Gambar 7.30	Diagram Nomogram	139
Gambar 7.31	Diagram Interaksi Hubungan P-M Pada Kolom	142
Gambar 7.32	Output Momen Nominal Pada Kolom.....	142
Gambar 7.33	Diagram Interaksi Kolom	146
Gambar 7.34	Output Momen Nominal Pada Kolom.....	146
Gambar 7.35	Detail Penulangan Pada Kolom	150
Gambar 7.36	Hubungan Balok dengan Kolom Yang Ditinjau	151
Gambar 7.37	Detail dan Gaya-Gaya Pada Hubungan Balok Kolom	154
Gambar 7.38	Denah <i>ShearWall</i> pada Lantai Basement	155
Gambar 7.39	Potongan Lokasi <i>ShearWall</i> pada Lantai Basement	156
Gambar 7.40	Diagram Interaksi Dinding Struktural	160

Gambar 7.41 Penulangan Pada *Shear Wall* 1166

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Rekapitulasi Preliminary Desain Balok.....	38
Tabel 4.2	Beban Tributary Untuk Kolom Basement	44
Tabel 5.1	Rekapitulasi Beban Gravitasi yang Terjadi pada Bangunan Gedung.....	53
Tabel 5.2	Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012 Tabel 2)	53
Tabel 5.3	Analisa Hasil Data Tanah Borlog	55
Tabel 5.4	Klasifikasi Situs (SNI 03-1726-2012 Tabel 3)	56
Tabel 5.5	Koefisien Situs F_a (SNI 03-1726- 2012 Tabel 4)....	57
Tabel 5.6	Interpolasi Koefisien Situs F_a (SNI 1726-2012)	57
Tabel 5.7	Koefisien Situs F_v (SNI 03-1726- 2012 Tabel 5)....	58
Tabel 5.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SNI 1726-2012 Tabel 6).....	59
Tabel 5.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 s (SNI 03-1726-2012 Tabel 7).....	59
Tabel 6.1	Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012, Tabel 14).....	73
Tabel 6.2	Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung (SNI 1726-2012, Tabel 14).....	74
Tabel 6.3	Rekapitulasi Nilai C_s	77
Tabel 6.5	Hasil Gaya Geser Dinamis Struktur.....	79
Tabel 6.6	Presentase Struktur Dalam Menahan Gaya Gempa	79
Tabel 6.7	Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X.	81
Tabel 6.8	Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y.	81
Tabel 7.1	Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Pada Balok	100
Tabel 7.2	Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan.....	125
Tabel 7.3	Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gravitasi (1,2DL+1,6LL)	135

Tabel 7.4	Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gempa (RSP-X).....	136
Tabel 7.5	Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gempa (RSP-Y).....	136
Tabel 7.6	Rekapitulasi Volume Beton dan Besi Hasil Analisa Perancangan Struktur	167
Tabel 7.7	Rekapitulasi Volume Beton dan Besi Data Existing	167
Tabel 7.8	Total Rekapitulasi Volume Beton dan Besi.....	168
Tabel 7.9	RAB Hasil Analisa Perancangan Struktur	169
Tabel 7.10	RAB Data Existing	170

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm^2
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_n	= Luas bersih penampang (mm^2)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal yang menahan torsi (mm^2)
A_o	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)
A_{oh}	= Luas penampang yang dibatasi oleh garis as tulangan sengkang (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik non prategang (mm^2)
A_t	= Luas satu kaki sengkang tertutup pada daerah sejarak s untuk menahan torsi (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak s atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak s pada komponen struktur lentur tinggi (mm^2)
b	= Lebar daerah tekan komponen struktur (mm^2)
b_o	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm)
b_w	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
C	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
C_c'	= Gaya pada tulangan tekan
C_s'	= Gaya tekan pada beton
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)
db	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
DL	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati

e	= Eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom atau telapak pondasi
E	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_{cb}	= Modulus elastisitas balok beton
E_{cp}	= Modulus elastisitas pelat beton
I_b	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
I_p	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
f_c'	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)
f_y	= Kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non prategang (MPa)
f_{vy}	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (MPa)
f_{ys}	= Kuat leleh tulangan sengkang torsi (MPa)
h	= Tinggi total dari penampang
h_n	= Bentang bersih kolom
L_n	= Bentang bersih balok
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (Nmm)
M_{nb}	= Kekuatan momen nominal persatuan jarak sepanjang suatu garis leleh
M_{nc}	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
M_n	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja (Nmm)
M_{nx}	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu x
M_{ny}	= Kekuatan momen nominal terhadap sumbu y
M_x	= Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x untuk aksial tekan yang nol
M_y	= Kekuatan momen nominal untuk lentur terhadap sumbu y untuk aksial tekan yang nol
M_{Rx}	= Momen puntir arah x
M_{Ry}	= Momen puntir arah y

- M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada Komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
- M_2 = Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada Komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
- M_{1ns} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2ns} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- M_{1s} = Nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
- M_{2s} = Nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan kesamping yang berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm).
- N_u = Beban aksial terfaktor
- P_{cp} = keliling luar penampang beton (mm)
- P_b = Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)

P_c	= Beban kritis (N)
P_{CP}	= Keliling penampang beton (mm)
Ph	= Keliling dari garis as tulangan sengkang torsi
P_n	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (N)
P_o	= Kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas nol (N)
P_u	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
R	= Faktor reduksi gempa
S	= Spasi tulangan geser atau torsi kearah yang diberikan (N)
S_a	= Akselerasi respon spektra
T_c	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan beton
T_e	= Waktu getar alami efektif saat inelastis
T_i	= Periode alami awal elastis (S)
T_n	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
T_s	= Kuat momen torsi nominal yang disumbangkan oleh Tulangan tarik
T_u	= Momen torsi tefaktor pada penampang (Nmm)
V_c	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton (N)
V_s	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
x	= Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur dari pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis panel yang bersebelahan pada tiap sisi balok
m	= Nilai rata-rata untuk semua balok tepi dari suatu panel = Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
d	= Rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap beban aksial terfaktor maksimum

	= Rasio tulangan tarik $\left(\frac{A_s}{bd} \right)$
b	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
max	= Rasio tulangan tarik maksimum
min	= Rasio tulangan tarik minimum
W	= Faktor reduksi kekuatan
	= Regangan (mm)
c	= Regangan dalam beton (mm)
d	= Panjang penyaluran (mm)
db	= Panjang penyaluran dasar (mm)
d _h	= Panjang penyaluran kait standar tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait (bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari-jari dan satu diameter tulangan).(mm)
n	= Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
u	= Panjang bebas (tekuk) pada kolom
ns	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung-ujung komponen struktur tekan
s	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Faktor kemajuan pendidikan berkelanjutan kejenjang perguruan tinggi merupakan hal yang penting dalam era globalisasi saat ini. Salah satu perguruan tinggi negeri di Indonesia, Universitas Brawijaya Malang mengalami perkembangan yang pesat setiap tahunnya. Perkembangan itu mulai dari sumber daya manusia yaitu dosen, mahasiswa, serta karyawan, hingga perbaikan lingkungan di sekitar Universitas.

Alternatif yang sesuai dengan kondisi diatas ialah melakukan pembangunan gedung perkuliahan untuk memenuhi kapasitas sumber daya manusia yang berada di lingkungan universitas. Dengan data menurut BMKG pada 26 Juli 2015 terjadi gempa berkekuatan 6,3 SR di kota Malang. Maka dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa di wilayah Malang dilakukan pemilihan sistem struktur yang mampu menahan beban lateral.

Secara umum konsep dalam perencanaan gedung tinggi yaitu gaya geser yang ditimbulkan akibat gempa bumi akan menjadi kritis pada bagian struktur gedung. Dalam pertimbangan perencanaan yang efektif, lebih ditentukan oleh kekakuan dibandingkan dengan pemilihan kekuatan. Maka penambahan elemen pengaku pada struktur gedung memang dibutuhkan. Salah satu perencanaan struktur tahan gempa yang dipilih ialah bangunan dengan menggunakan sistem ganda.

Sistem ganda adalah sebuah sistem gabungan yang menggunakan dua sistem berbeda, pada Tugas Akhir ini diambil penggabungan antara SRPM dengan dinding geser. Sistem rangka pemikul momen pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Ketika beban lateral jauh lebih tinggi dari beban gravitasi, sistem struktur dinding geser lebih baik untuk

menahan gaya lateral. Diharapkan kedua gabungan sistem ini dapat bekerja bersama untuk mengatasi beban lateral yang terjadi.

Sistem ganda memiliki 3 ciri dasar yaitu pertama adalah rangka ruang lengkap berupa SRPM yang penting berfungsi memikul beban gravitasi, kedua adalah SRPM secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25% dari beban gempa rencana, ketiga adalah SRPM dan dinding geser direncanakan untuk menahan gaya gempa secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya (Purwono, 2005).

Pertimbangan pemilihan sistem perencanaan struktur gedung harus sesuai fungsi layan, ketinggian gedung, serta gaya gempa yang terjadi pada struktur gedung. Dengan data existing yang semula hanya menggunakan sistem rangka terbuka akan lebih efektif dalam perencanaan menggunakan sistem ganda dengan elemen dinding geser sebagai pengaku.

Berdasarkan hal diatas, yang mendasari penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul Perencanaan Struktur Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komunikasi Universitas Brawijaya Malang dengan Menggunakan Metode Sistem Ganda.

Pemilihan judul ini didasari keinginan penulis dalam penerapan hasil pada kuliah Struktur Teknik Sipil dan beberapa waktu ke depan bangunan gedung perkuliahan ini akan banyak dicari karena seiring kemajuan bidang pendidikan, kestabilan struktur gedung dalam menahan gaya lateral, serta penataan tata ruang lingkungan khususnya pada universitas.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan elemen struktur atas bangunan gedung dengan menggunakan metode sistem ganda?
2. Berapa besar perbedaan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur gedung dari metode sistem ganda dengan bangunan eksisting yang menggunakan metode SRPMK?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur atap yang semula menggunakan baja diganti dengan menggunakan beton.
2. Perencanaan difokuskan pada struktur bangunan atas dan tidak meninjau struktur bangunan bawah.
3. Beban gempa dihitung menggunakan analisa beban gempa dinamis (kapasitas spektrum).
4. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada elemen struktur utama.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu untuk merencanakan elemen struktur atas bangunan gedung dengan menggunakan metode sistem ganda.
2. Mampu untuk menghasilkan besarnya perbedaan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur gedung dari metode sistem ganda dengan bangunan eksisting yang menggunakan metode SRPMK.

1.5 Manfaat

Manfaat penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merencanakan elemen struktur atas bangunan gedung dengan menggunakan metode sistem ganda.
2. Dapat menghasilkan besarnya perbedaan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur gedung dari metode sistem ganda dengan bangunan eksisting yang menggunakan metode SRPMK.
3. Mendapatkan pengalaman dan pemahaman mengenai suatu perencanaan struktur atas bangunan gedung, khususnya pembangunan gedung perkuliahan.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Bangunan Tahan Gempa

Perancangan bangunan tahan gempa merupakan suatu cara dimana bangunan diperhitungkan secara terstruktur mampu menahan goncangan gempa serta resiko saat terjadinya gempa. Perancangan bangunan tahan gempa bertujuan untuk mempertahankan pelayanan dari fungsi bangunan serta membatasi ketidaknyamanan penghuni akibat beban gempa yang terjadi.

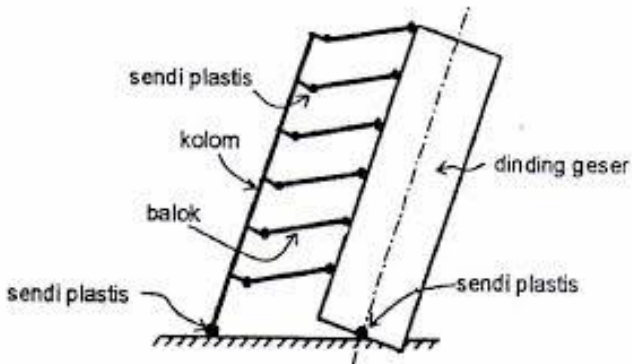
Menurut Budiono (2011), struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Konsep dasar dari perancangan bangunan tahan gempa ialah sebagai berikut :

- ❖ Pada saat terjadi gempa ringan, struktur dan fungsi bangunan harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural maupun non struktural.
- ❖ Pada saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural namun tidak diperbolehkan pada elemen struktural.
- ❖ Pada saat terjadi gempa besar, kerusakan diperbolehkan pada elemen struktural dan nonstruktural namun bangunan tidak boleh runtuh.

Perancangan bangunan baru dapat menggunakan konsep basis kinerja. FEMA 273 (1997) menetapkan level kinerja untuk perancangan struktur bangunan tahan gempa yaitu *Operational*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, serta *Collapse Prevention (CP)*. Dalam mendesain struktur tahan gempa diperlukan metode untuk mengkaji ulang sifat struktur. Metode yang berkembang adalah metode *Performance Based Design (PBD)*.

Desain struktur harus memenuhi syarat “*Strong Column Weak Beam*”, yang berarti ketika bangunan menerima beban gempa

hanya boleh terjadi pada sendi plastis di ujung balok, kaki kolom, dan kaki dinding geser. (Tavio dan Kusuma 2009)



Gambar 2.1 Desain Struktur “Strong Column Weak Beam” dengan Dinding Geser.

2.2 Struktur Sistem Ganda (*Dual System*)

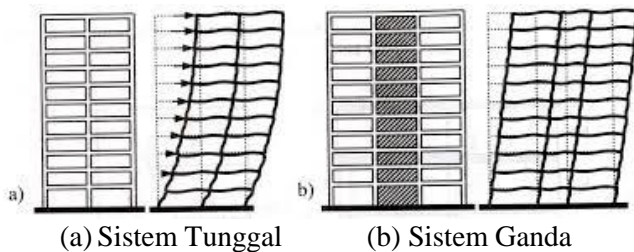
Struktur sistem ganda merupakan gabungan antara sistem struktur portal dengan sistem dinding geser (*Shear Wall*) pada bangunan tingkan tinggi dengan tinjauan terhadap beban lateral. Sistem ganda menurut SNI 1726-2012 adalah struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser.

Keuntungan yang diperoleh dari sistem ganda adalah kontrol yang lebih baik untuk simpangan antar tingkat (*drift*) sesuai yang disyaratkan pada SNI 1726-2012, dimana pada sistem ganda nilai simpangan tereduksi secara signifikan dibandingkan hanya didesain sebagai sistem tunggal. Dengan momen yang diterima oleh dinding geser akan berkurang dan pola distribusi gaya geser tingkat ditanggung oleh rangka pemikul momen *uniform* sehingga relatif lebih ekonomis.

Dengan menggunakan metode sistem ganda, maka tinggi bangunan dapat mencapai 50 tingkat untuk struktur beton,

sedangkan bila digunakan struktur baja dapat mencapai 40 tingkat. Sistem ganda memiliki 3 ciri dasar yaitu pertama adalah rangka ruang lengkap berupa SRPM yang penting berfungsi memikul beban gravitasi, kedua adalah SRPM secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25% dari beban gempa rencana, ketiga adalah dinding geser dan SRPM direncanakan untuk menahan gaya gempa secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya (Purwono, 2005).

Oleh karena itu, dalam desain sistem ganda perencanaan struktur harus memenuhi kriteria yang disyaratkan sesuai dengan sistem gabungan yang digunakan yaitu sistem rangka pemikul momen dan dinding geser.



Gambar 2.2 Deformasi Struktur Terhadap Beban Lateral

2.3 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dalam SNI 2847:2013 disebutkan bahwa dinding geser adalah dinding struktur yang ditetapkan sebagai bagian sistem penahan gaya gempa. Bangunan tinggi tahan gempa menggunakan elemen-elemen struktur yang kaku seperti dinding geser untuk menahan beban lateral. Dinding geser yang umum digunakan adalah dinding geser kantilever dan dinding geser berangkai.

Pada umumnya dinding geser selalu dihubungkan dengan sistem rangka pemikul momen pada gedung, kerja sama antara dinding geser dan sistem rangka pemikul momen inilah yang disebut sistem ganda. Dinding geser atau dinding struktur yang ditetapkan sebagai bagian sistem penahan gaya gempa bisa dikategorikan sebagai berikut:

- ❖ Dinding beton polos struktur biasa (*Ordinary structural concrete wall*).
- ❖ Dinding struktur beton bertulang biasa (*ordinary reinforced concrete structural wall*).
- ❖ Dinding structural pracetak menengah (*intermediate precast structural wall*).
- ❖ Dinding structural khusus (*special structural wall*).

Gedung yang diperkaku dengan dinding geser dianggap lebih efektif daripada gedung dengan rangka kaku, dengan mempertimbangkan pembatasan kehancuran, keamanan secara keseluruhan dan keandalan struktur. Hal ini berdasarkan fakta bahwa dinding geser dianggap lebih kaku daripada elemen rangka biasa sehingga dapat menahan beban lateral yang lebih besar akibat gempa, dan di saat yang bersamaan dapat membatasi simpangan antar lantai. (Nawy, 2005)

Lantai yang berlaku sebagai diafragma horizontal meneruskan beban lateral secara merata ke dinding geser. Dianggap bahwa lantai cukup tebal dan tidak mempunyai bukaan besar, dengan kata lain lantai-lantai sangat kaku dan tidak berubah bentuk. Penyebaran gaya lateral ke dinding geser adalah fungsi dari susunan geometrisnya. Apabila resultan dari gaya lateral melalui titik berat dari kekakuan relatif bangunan, maka yang dihasilkan hanyalah reaksi translasi. (Schueller, 1991: 110)

Salah satu hal pokok yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan dinding geser pada Sistem Ganda adalah penempatan dinding geser. Dalam sistem gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan, seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan. Eksentrisitas pada gedung terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung. Eksentrisitas yang besar dapat menyebabkan rotasi pada gedung. Untuk itu, dinding geser harus ditempatkan sedemikian rupa untuk membatasi eksentrisitas itu, atau dengan kata lain agar didapatkan eksentrisitas sekecil mungkin. Selain itu, yang harus menjadi pertimbangan adalah bentuk denah gedung dan tata guna lantai, di mana dinding geser

yang menerus umumnya diletakkan di dekat tangga atau lift untuk menghindari terganggunya sirkulasi ruang dan menjaga kenyamanan pengguna gedung.

Berdasarkan letak dan fungsinya dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

- ❖ *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi . Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
- ❖ *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
- ❖ *Core walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

2.3.1 Perencanaan Dinding Geser

Berdasarkan geometrinya Dinding Geser juga dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- ❖ *Flexurall Wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
- ❖ *Squat Wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w < 2$, dimana desain dikontrol dengan perilaku geser.
- ❖ *Coupled Shear Wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada

elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Berikut kriteria desain dalam perencanaan dinding geser berdasarkan SNI 03-2847-2013:

❖ Tulangan Minimum (pasal 14.3)

- Rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:
 - 0,0012 untuk batang ulir D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan 420 Mpa.
 - 0,0015 untuk batang ulir lainnya.
 - 0,0012 untuk tulangan kawat las < 16 atau D16.
- Rasio minimum untuk luas tulangan horisontal terhadap luas bruto beton haruslah :
 - 0,0020 untuk batang ulir D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan 420 Mpa.
 - 0,0025 untuk batang ulir lainnya.
 - 0,0020 untuk jaring kawat baja las (polos atau ulir) < 16 atau D16.
- Jarak tulangan vertikal dan horizontal satu sama lain tidak boleh lebih jauh dari tiga kali tebal dinding atau lebih jauh dari 450 mm.

❖ Metode Desain Empiris Dinding (pasal 14.5)

- Kekuatan aksial desain ϕP_n sebuah dinding dihitung dengan persamaan :

$$\phi P_n = 0,55 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot A_g \left[1 - \left(\frac{k}{3} \right)^2 \right] \quad (2.1)$$

- Tebal dinding penumpu tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang mana yang lebih pendek atau kurang dari 100 mm.

❖ Kekuatan Geser (pasal 21.9.4)

- V_n dinding tidak boleh melebihi persamaan berikut ini :

$$V_n = A_{cv} \left(c \cdot \sqrt{f'_c} + t \cdot f_y \right) \quad (2.2)$$

2.3.2 Pola Keruntuhan Dinding Geser

Dinding geser sebagai elemen penahan beban lateral memiliki keuntungan utama karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. Struktur gedung

dengan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral pada umumnya memiliki performance yang cukup baik pada saat gempa.

Beberapa kerusakan yang terjadi akibat beban lateral pada umumnya berupa cracking, yang terjadi pada dasar dinding dan juga pada bagian coupling beam pada dinding berangka.

Perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut (*Pantazopoulou dan Imran, 1992*):

- ❖ *Flexural behavior*, dimana respons yang terjadi pada dinding akibat gaya luar dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Keruntuhan jenis ini pada umumnya bersifat daktail.
- ❖ *Flexural-shear behavior*, dimana kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
- ❖ *Shear behavior*, dimana dinding runtuh akibat geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku batas ini bisa dibagi lagi menjadi diagonal tension shear failure dan diagonal compression shear failure.
- ❖ *Sliding shear behavior*, dimana dibawah pembebanan bolak-balik, sliding shear bisa terjadi akibat adanya *flexural cracks* yang terbuka lebar pada dasar dinding. Keruntuhan jenis ini sifatnya getas dan menghasilkan perilaku disipasi yang buruk.

2.3.3 Stabilitas Dinding Struktur

Suatu struktur yang relatif tipis dan langsing yang mengalami regangan tekan, bahaya ketidakstabilan tekuk pada bidang luar dinding struktur perlu diperhatikan dengan baik. Pada tinjauan tersebut perlu adanya peningkatan stabilitas dengan penebalan dinding, penggunaan sayap dinding, atau pembesaran pada daerah batas elemen atau kolom-kolom pada ujung dinding struktur yang direncanakan.

Potensi tekuk keluar bidang dari suatu dinding struktur yang daktail tergantung pada besaran regangan tarik dan regangan tekan akibat momen sebaliknya. Regangan tarik yang besar akan terjadi pada tulangan longitudinal yang terletak pada tepi serat tarik

penampang dan bila regangan tersebut cukup tinggi maka retakan yang parah terjadi pada sambungan tulangan.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen ditransfer melalui mekanisme lentur kolom dan balok. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

- ❖ Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan Kategori Desain Seismik (KDS) A dan B.
- ❖ Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan Kategori Desain Seismik (KDS) A, B, dan C.
- ❖ Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan Kategori Desain Seismik (KDS) A, B, D, E, dan F.



Gambar 2.3 Klasifikasi Kategori Desain Seismik

Dalam Tugas Akhir ini difokuskan peninjauan pada SRPMK. Prinsip dasar SRPMK ialah sebagai berikut :

- ❖ Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur.
- ❖ Desain komponen struktur berupa kolom kuat balok lemah (*Strong Colomn Weak Beam*) untuk mencegah terjadinya leleh

pada kolom yang didesain sebagai komponen pemikul beban lateral.

Komponen struktur pada metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus harus memenuhi persyaratan-persyaratan berikut ini :

❖ Komponen Struktur Lentur

➤ Persyaratan Geometri.

Dalam desain penampang komponen lentur bagian dari SRPMK, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.1 sebagai berikut :

- Gaya aksial tekan terfaktor, P_u tidak boleh melebihi:

$$A_g \frac{f_c'}{1} (P_u < A_g \frac{f_c'}{1}).$$

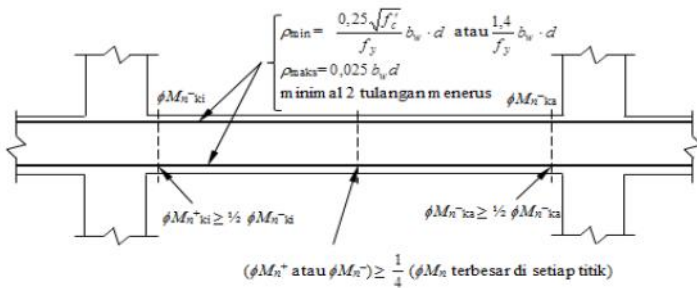
- Panjang bentang bersih, l_n , harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif. ($l_n > 4d$).
- Lebar penampang, b_w , tidak kurang dari 0,3 kali tinggi penampang namun tidak boleh diambil kurang dari 250 mm. ($b_w > 0,3h$ atau 250 mm).
- Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari : lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.

➤ Tulangan Longitudinal (Lentur)

Untuk tulangan longitudinal struktur lentur, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.2 sebagai berikut :

- As min $> \frac{0,2 \sqrt{f_c'}}{f}$
- As min $> \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f}$
- Rasio tulangan () $< 0,025$
- Tulangan utama lentur disediakan paling sedikit 2 batang tulangan pada kedua sisi atas dan bawah.
- Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada join (HBK), jarak 2 kali tinggi komponen dari muka HBK,

dan pada analisa menunjukkan terjadi leleh lentur akibat gempa (gaya lateral).

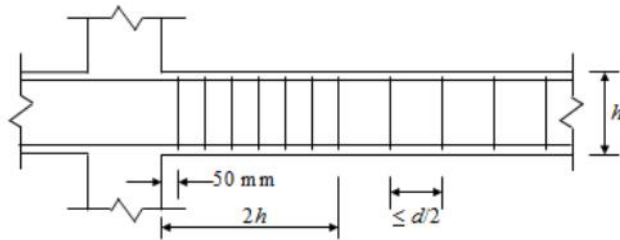


Gambar 2.4 Syarat Tulangan Longitudinal pada Komponen Struktur Lentur

➤ Tulangan Transversal (Geser)

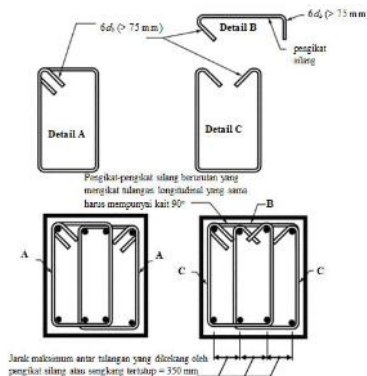
Untuk tulangan longitudinal struktur lentur, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.3 sebagai berikut :

- Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil antara :
 - ✓ $d/4$
 - ✓ $6db$ (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
 - ✓ 150 mm
- Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur lentur.



Gambar 2.5 Syarat Senggang Pada Komponen Struktur Lentur

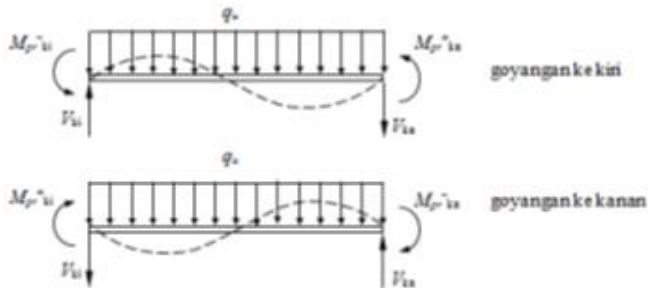
- Senggang tertutup dapat terdiri dari dua buah tulangan, yaitu : sebuah sengkang dengan kait gempu pada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90° - nya harus dipasang berselang-seling.



Gambar 2.6 Senggang Pada Komponen Struktur Lentur

- Tulangan transversal untuk SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum, M_{pr} , dengan tanda berlawanan, yang dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan.

- Pada saat yang bersamaan komponen struktur tersebut dianggap memikul beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

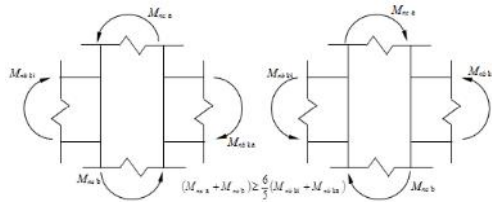


Gambar 2.7 Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur

- Kuat geser yang disumbangkan oleh beton, V_c , dapat diambil sama dengan nol apabila gaya geser akibat gempa lebih besar atau sama dengan 50% dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut, serta apabila gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g \frac{f_c'}{2}$.
- ❖ Komponen Struktur yang Dikenai Beban Lentur dan Beban Aksial
 - Persyaratan Geometri (Dimensi Penampang)

Untuk desain penampang struktur yang dikenai beban lentur dan aksial, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 sebagai berikut :

 - Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm.
 - Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0,4.
 - Kuat lentur kolom harus memenuhi $M_{nc} \leq 1,2 M_{nb}$.



Gambar 2.8 Syarat Desain Pada Kuat Lentur Kolom

➤ Tulangan Longitudinal (Lentur)

Untuk tulangan longitudinal struktur yang dikenai beban lentur dan aksial, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.6.3 sebagai berikut :

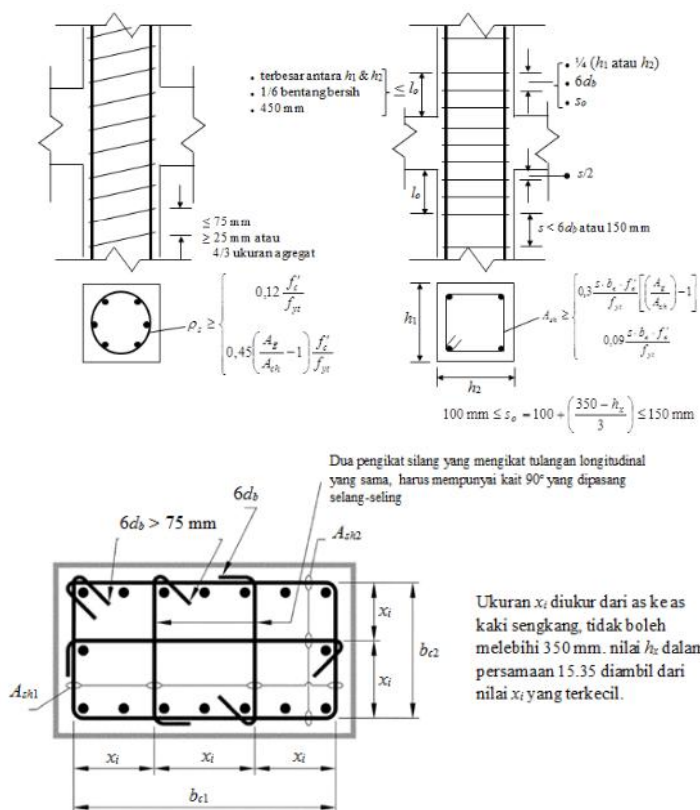
- Range ratio tulangan lentur sebagai berikut :
 $0,01 A_g \leq A_{st} \leq 0,06 A_g$
- Sambungan tipe 1 dan sambungan las tidak boleh ditempatkan pada lokasi yang berpotensi membentuk sendi plastis.
- Sambungan lewatan hanya diizinkan di lokasi setengan panjang elemen struktur yang berada ditengah dan harus diikat dengan tulangan sengkang tertutup.

➤ Tulangan Transversal (Geser)

Untuk tulangan transversal struktur yang dikenai beban lentur dan aksial, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.6.4 sebagai berikut:

- Fungsi tulangan ini untuk mengekang daerah inti kolom.
- Daerah kolom yang berpotensi membentuk sendi plastis dan harus dipasang tulangan transversal :
 - ✓ Lo dari setiap muka HBK.
 - ✓ Pada daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal kolom.
- Panjang Lo yang disyaratkan tidak kurang dari nilai berikut :
 - ✓ Tinggi penampang strukturr kolom pada muka HBK.
 - ✓ $1/6 \times L$ bersih kolom.
 - ✓ 450 mm.

- Spasi tulangan transversal :
 - ✓ $\frac{1}{4}$ x dimensi terkecil
 - ✓ 6 x D tulangan longitudinal terkecil kolom
 - ✓ $S_o = 100 + \left(\frac{3 - h_x}{3} \right)$ dengan nilai :
150 mm S_o 100 mm



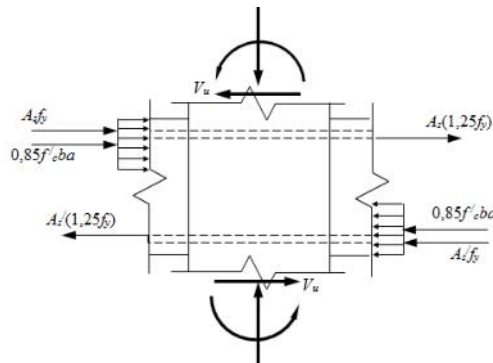
Gambar 2.9 Syarat Tulangan Transversal pada Kolom.

❖ Hubungan Balok dengan Kolom (*Joint*)

➤ Persyaratan Gaya dan Geometri.

Untuk desain penampang struktur pada hubungan balok dengan kolom, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7.2 sebagai berikut:

- Tegangan tulangan tarik lentur diasumsi $1,25 f_y$.
- Faktor reduksi diambil 0,8 untuk perencanaan HBK.
- Dimensi kolom $20 \times$ Dutama balok terbesar.



Gambar 2.10 Gaya dan Desain Penampang pada HBK

➤ Tulangan Transversal (Geser)

Untuk desain penampang struktur pada hubungan balok dengan kolom, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7.3 sebagai berikut:

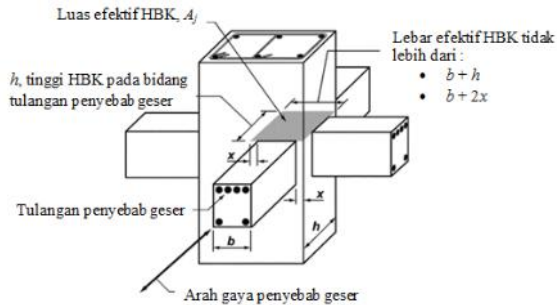
- Sengkang pada daerah sendi plastis kolom dipasang juga pada HBK dengan spasi tulangan 150 mm.
- HBK dianggap terkekang penuh jika ada 4 balok yang merangka pada keempat sisi HBK itu

➤ Kuat Geser

Untuk desain penampang struktur pada hubungan balok dengan kolom, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7.4 sebagai berikut:

- Kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi dari :

- ✓ $1,7\sqrt{f'c} A_j$, untuk HBK yang terkekang keempat sisinya
- ✓ $1,25\sqrt{f'c} A_j$, untuk HBK yang terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan
- ✓ $1,0\sqrt{f'c} A_j$, untuk HBK yang lainnya



Gambar 2.11 Kuat Geser untuk Hubungan Balok dan Kolom

➤ Panjang Penyaluran

Untuk desain penampang struktur pada hubungan balok dengan kolom, harus memenuhi kriteria dalam SNI 2847:2013 pasal 21.7.5 sebagai berikut:

- Panjang penyaluran ldh untuk tulangan tarik berdiameter 10 hingga 36 mm, yang memiliki kait standar 90o, diambil dari nilai terbesar antara :
 - ✓ $8db$
 - ✓ 150 mm, atau
 - ✓ $f_ydb/(5,4\sqrt{f'c})$
- Untuk tulangan berdiameter 10 hingga 36 mm tanpa kait, panjang penyaluran tulangan tarik, ld , tidak boleh diambil lebih kecil daripada:
 - ✓ $2,5ldh$, jika tebal pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm.
 - ✓ $3,25ldh$, jika tebal pengecoran beton di bawah tulangan tersebut lebih dari 300 mm.

2.5 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya suatu proyek adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk kebutuhan bahan, upah, peralatan serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek. Anggaran biaya merupakan harga dari suatu proyek yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan. (Ervianto, 2005).

2.5.1 Biaya Langsung (*Direct Cost*)

Biaya langsung adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek. Biaya langsung terdiri dari:

- ❖ Penyiapan lahan (*site preparation*). Pekerjaan ini terdiri dari *clearing*, *grubbing*, menimbun dan memotong tanah, mengeraskan tanah, dan lain-lain. Disamping itu juga pekerjaan-pekerjaan membuat pagar, jalan, dan jembatan.
- ❖ Pengadaan peralatan utama. Semua peralatan utama yang tertera dalam gambar disain engineering. Contoh untuk ini adalah kolom destilasi, reaktor, regenerator, generator dapur, dan lain-lain.
- ❖ Biaya merakit dan memasang peralatan utama. Terdiri dari pondasi struktur, penyangga, isolasi, dan pengesetan.
- ❖ Pipa. Terdiri dari pipa transfer, pipa penghubung antara peralatan, dan lain-lain.
- ❖ Alat-alat listrik dan instrumen. Terdiri dari gardu listrik, motor listrik, jaringan distribusi, dan instrumen.
- ❖ Pembangunan gedung perkantoran, pusat pengendalian operasi (*control room*), gudang, dan bangunan sipil lainnya.
- ❖ Fasilitas pendukung seperti *utility* dan *offsite*. Terdiri dari pembangkit uap, pembangkit listrik, fasilitas air pendingin, tangki, dan dermaga.
- ❖ Pembebasan tanah. Biaya pembebasan tanah sering kali dimasukkan ke dalam biaya langsung.

2.5.2 Biaya Tidak langsung (*Indirect Cost*)

Biaya tidak langsung adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisi, dan pembayaran material serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi atau produk permanen, tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek. Biaya tidak langsung terdiri dari :

- ❖ Gaji tetap dan tunjangan bagi tim manajemen, gaji dan tunjangan bagi tenaga bidang engineering, inspektur, penyelia konstruksi lapangan, dan lain-lain.
- ❖ Kendaraan dan peralatan konstruksi. Termasuk biaya pemeliharaan, pembelian bahan bakar, minyak pelumas, dan suku cadang.
- ❖ Pembangunan fasilitas sementara. Termasuk rumah darurat tenaga kerja, penyediaan air, listrik, fasilitas komunikasi sementara untuk konstruksi, dan lain-lain.
- ❖ Pengeluaran umum. Butir ini meliputi bermacam keperluan tetapi tidak dapat dimasukkan ke dalam butir yang lain, seperti *small tools*, pemakaian sekali lewat (*consumable*) misalnya kawat las.
- ❖ Kontigensi laba atau *fee*. Kontigensi dimaksudkan untuk menutupi hal-hal yang belum pasti.
- ❖ Overhead. Butir ini meliputi biaya untuk operasi perusahaan secara keseluruhan, terlepas dari ada atau tidak adanya kontrak yang sedang ditangani. Misalnya biaya pemasaran, advertensi, gaji eksekutif, sewa kantor, telepon, komputer.
- ❖ Pajak, pungutan/sumbangan, biaya izin, dan asuransi. Berbagai macam pajak seperti PPN, PPh dan lainnya atas hasil operasi perusahaan.

2.5.3 Penyusunan Anggaran Biaya Proyek

Tahap-tahap yang sebaiknya dilakukan untuk menyusun anggaran biaya adalah berikut (*Ervianto,2005*) :

- ❖ Melakukan pengumpulan data tentang jenis, harga serta kemampuan pasar menyediakan bahan/material konstruksi secara kontinu.

- ❖ Melakukan pengumpulan data tentang upah pekerja yang berlaku di daerah lokasi proyek dan atau upah pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek.
- ❖ Melakukan perhitungan analisa bahan dan upah dengan menggunakan analisa yang diyakini baik oleh si pembuat anggaran. Dalam hal ini digunakan perhitungan berdasarkan analisa SNI.
- ❖ Melakukan perhitungan harga satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dan daftar kuantitas pekerjaan.
- ❖ Membuat rekapitulasi anggaran biaya.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1 Metode Perancangan Struktur Gedung

Tahapan-tahapan dalam perencanaan struktur Gedung B PTIIK Universitas Brawijaya Malang adalah sebagai berikut :

❖ **Identifikasi masalah**

Identifikasi masalah merupakan tahap pengumpulan data yang berasal dari lapangan maupun literatur yang akan digunakan sebagai objek perencanaan dan juga data tanah yang digunakan pada proyek yang akan dikerjakan.

❖ **Kriteria desain**

Kriteria desain yaitu penentuan gedung sebagai objek perencanaan, tinggi gedung, fungsi gedung, lokasi gedung, serta properti material yang digunakan pada pembangunan gedung.

❖ **Desain Awal**

Desain awal merupakan awal dari perencanaan struktur gedung ini. Pada tahap desain struktur kita menentukan dimensi elemen struktur gedung yang digunakan untuk tahap perencanaan selanjutnya mengacu sesuai SNI 2847:2013 serta buku referensi lainnya yang menunjang dalam desain awal struktur bangunan gedung.

❖ **Pembebanan**

Tahap pembebanan meliputi beban sendiri bangunan, beban mati, dan beban hidup yang mengacu pada peraturan SNI 1727:2013. Sedangkan beban gempa mengacu pada peraturan SNI 1727:2012. Untuk kombinasi pembebanan dilakukan dengan metode ultimit mengacu pada peraturan SNI 1727:2012.

❖ **Modelisasi Struktur**

Melakukan permodelan pada program bantu *software* SAP 2000 v.14 sesuai dengan data yang diperoleh.

❖ Analisa Hasil

Analisa hasil dari *output* dari program bantu SAP 2000 digunakan untuk kontrol Periode Fundamental Struktur, Simpangan antar Lantai, serta Gaya Geser Dinamis. Jika ketiga kontrol tersebut terpenuhi, maka dilakukan desain tulangan untuk dinding geser dan struktur utama dari *output*. Jika tidak terpenuhi, maka dilakukan pengecekan kembali dan perubahan pada tahap *Preliminary Design*.

❖ Desain Tulangan Dinding Geser dan Struktur Utama

Untuk desain ini mengacu pada peraturan SNI 2847:2013 serta buku referensi lainnya yang menunjang dalam desain struktur bangunan gedung.

❖ Pengolahan Data

Pengolahan data guna mempermudah dalam tahap perhitungan Gambar Detail Konstruksi Bangunan dan Rencana Anggaran Biaya.

❖ Gambar Detail Konstruksi Bangunan Gedung.

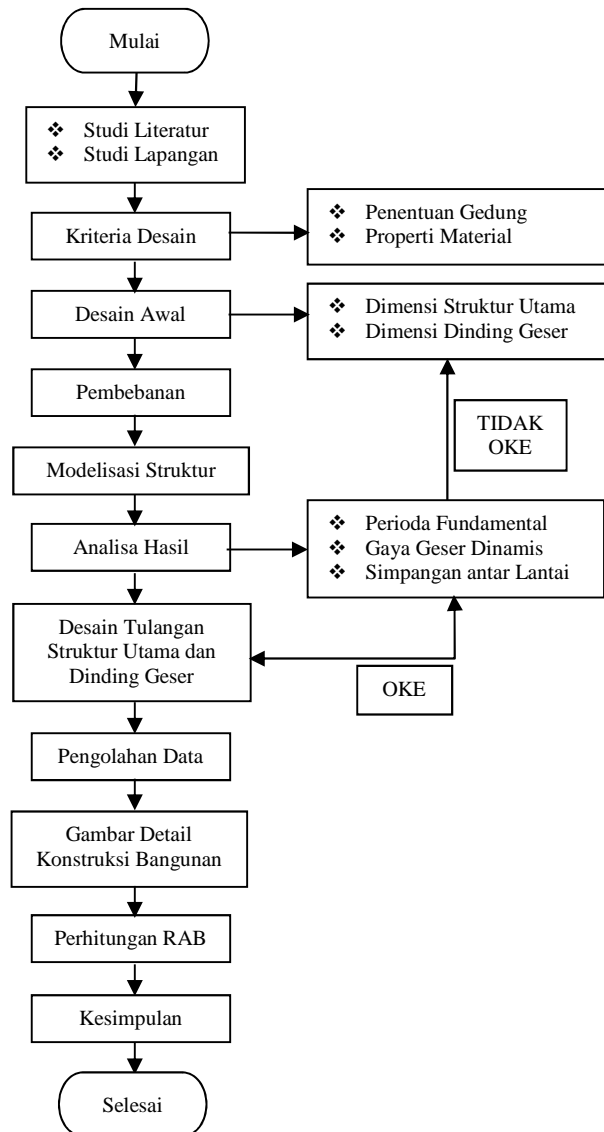
Hasil dari perencanaan dan perhitungan struktur dituangkan dalam bentuk gambar struktur, detail, potongan melintang, dan potongan memanjang, dengan ukuran, bentuk, dan skala yang ditentukan menggunakan *software* AutoCad 2014.

❖ Perhitungan RAB

Pada tahap ini dilakukan perhitungan Rencana Anggaran Biaya dengan HSPK 2016 kota Malang.

❖ Kesimpulan

Berisi rangkuman dari hasil pengerjaan Tugas Akhir serta saran untuk pembaca.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Perencanaan.

3.2 Data Perancangan Bangunan

Material yang digunakan dalam perencanaan ini menggunakan struktur beton bertulang, beberapa data rencana yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut :

3.2.1 Data Umum

Data umum dalam perencanaan Gedung 13 Lantai adalah sebagai berikut :

- ❖ Jenis bangunan : Bangunan Gedung Perkuliahan
- ❖ Luas bangunan : $1296 \text{ m}^2 \times 13 = 16848 \text{ m}^2$
- ❖ Luas lahan : $\pm 4000 \text{ m}^2$

3.2.2 Data Khusus

Data khusus penunjang perencanaan adalah sebagai berikut:

- ❖ Ukuran bangunan : $36 \text{ m} \times 36 \text{ m}$
- ❖ Jumlah lantai : 14
- ❖ Kategori resiko : IV (fasilitas pendidikan)

3.2.3 Data Tanah

Data tanah didapatkan dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh Laboratorium Uji Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Data tanah berupa data bor log. Data kondisi tanah di lokasi bangunan sebagai berikut :

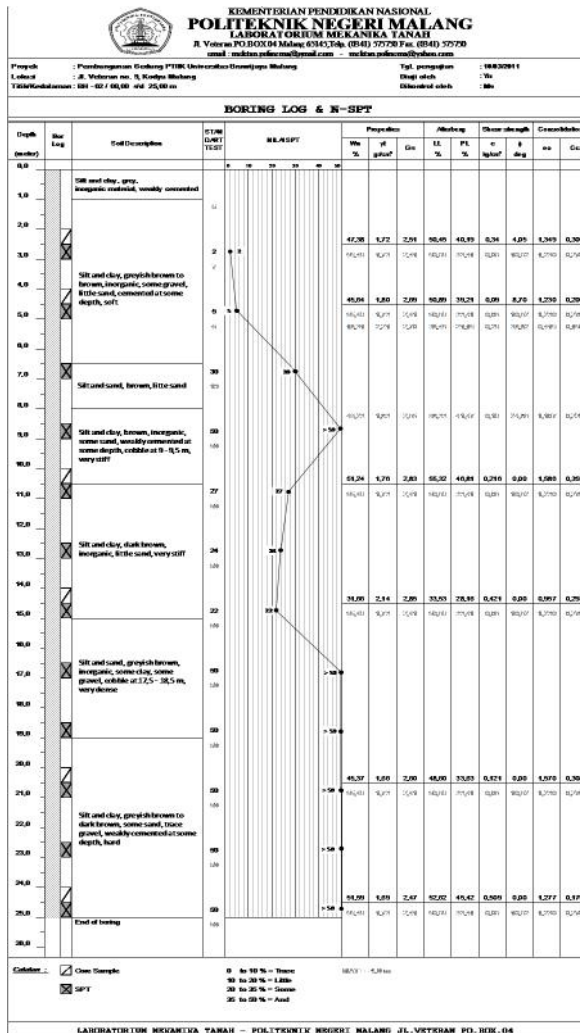
- ❖ Jenis tanah : Lempung
- ❖ Kondisi : Tanah Lunak, Situs Tanah SE.
- ❖ Data penyelidikan tanah : Data bor log

3.2.4 Data Gambar Perancangan Bangunan

Data gambar desain bangunan gedung kuliah ini sebagai berikut:

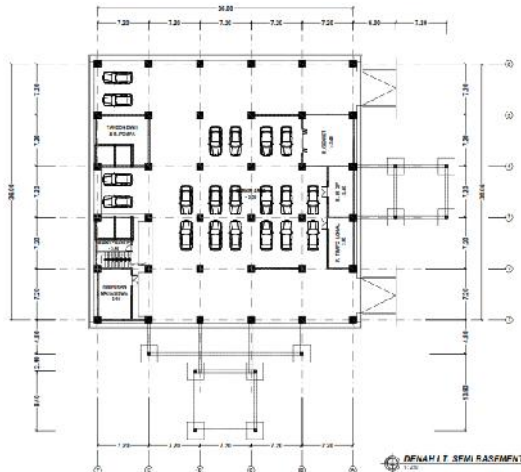
- ❖ Denah Semi Besmen
- ❖ Denah lantai 1-14 bangunan (*typical*)
- ❖ Tampak depan bangunan
- ❖ Tampak samping bangunan
- ❖ Tampak belakang bangunan

- ❖ Potongan memanjang bangunan
- ❖ Potongan melintang bangunan
- ❖ Data bor log tanah di lokasi bangunan sebagai berikut:

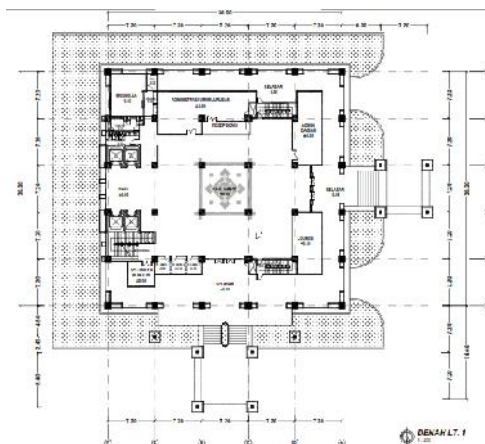


Gambar 3.2 Data Boring Tanah

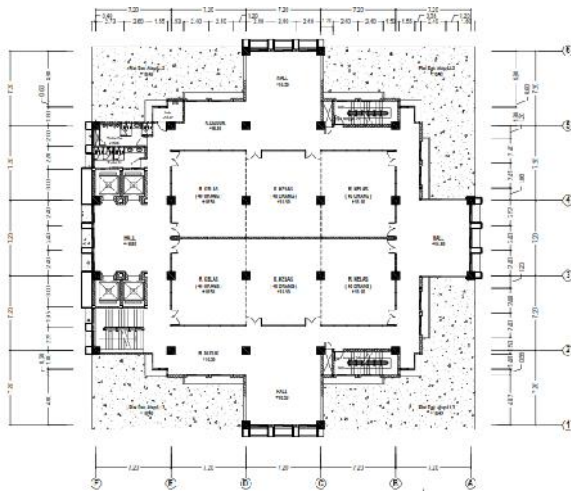
- ❖ Gambar data perencanaan bangunan sebagai berikut :
 - Pada perencanaan ini tidak meninjau struktur bangunan bawah, gambar denah rencana bangunan dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 3.3 Denah Semi Besmen

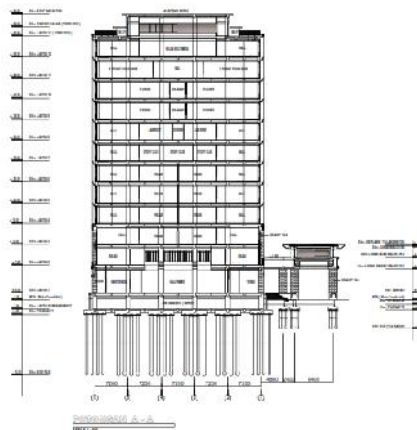


Gambar 3.4 Denah Lt. 1-3 Typical

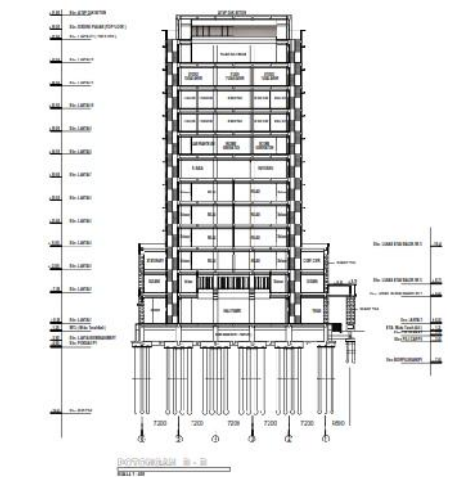


Gambar 3.5 Denah Lt.4 – 13 Typical

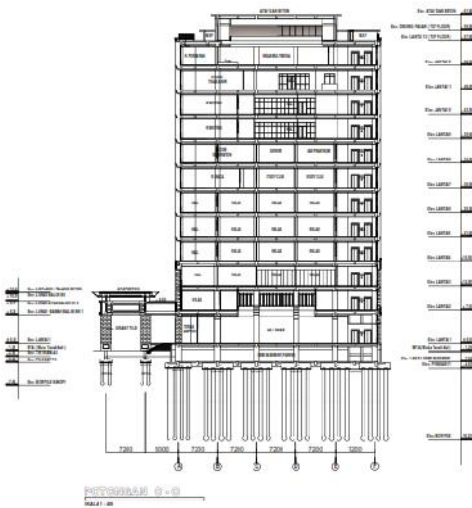
- Pada perencanaan ini struktur atap yang semula baja diganti menggunakan beton, dapat dilihat pada gambar potongan bangunan dibawah ini :



Gambar 3.6 Potongan A-A



Gambar 3.7 Potongan B-B



Gambar 3.8 Potongan C-C

- Gambar tampak bangunan dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 3.9 Tampak Utara



Gambar 3.10 Tampak Timur

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB IV PRELIMINARY DESIGN

4.1 Data Desain Preliminary

Bahan yang digunakan untuk struktur gedung ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut :

Tipe Bangunan	: Gedung Perkuliahan.
Letak Bangunan	: Dekat Pegunungan.
Lebar Bangunan	: 36 m.
Panjang Bangunan	: 36 m.
Tinggi bangunan	: 61,8 m.
Mutu Beton (f_c') Kolom	: 40 Mpa.
Mutu Beton (f_c') <i>Shear Wall</i>	: 40 Mpa.
Mutu Beton (f_c') Balok	: 30 Mpa.
Mutu Beton (f_c') Pelat Lantai	: 30 Mpa.
Mutu Beton (f_c') Tangga	: 30 Mpa.
Mutu Beton (f_c') Atap Dak Beton	: 30 Mpa.
Mutu Baja (f_y) Tulangan Longitudinal	: 400 Mpa.
Mutu Baja (f_y) Tulangan Transversal	: 240 Mpa.

4.2 Preliminary Desain Balok

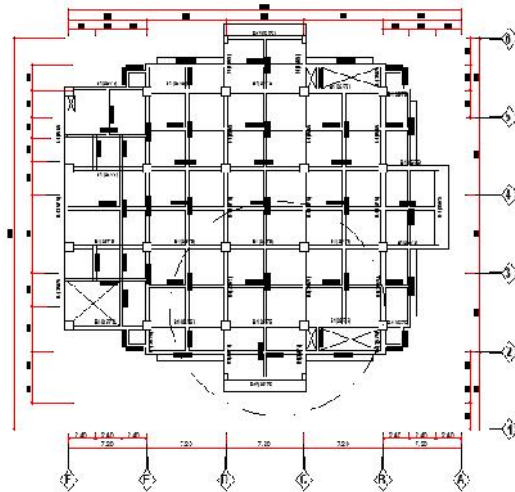
Preliminary design balok bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi balok. Tinggi minimum balok (h_{\min}) tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.2.2. Tabel 9.5(a). Lebar balok diestimasikan berkisar antara $1/2$ - $2/3$ tinggi balok.

$$h_{\min} = \frac{l}{16} \quad (4.1)$$

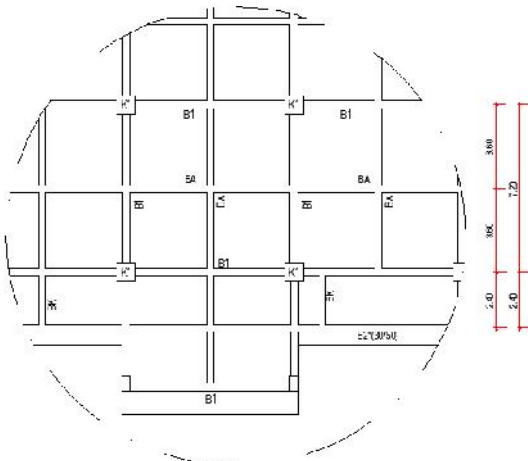
Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$. Jadi untuk mutu baja 400 Mpa , perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{16} \right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{f_y}{700} \right) \right) \quad (4.2)$$

Berikut balok bangunan yang akan ditinjau dalam contoh perhitungan preliminary desain balok :



Gambar 4.1 Tinjauan Balok



Gambar 4.2 Detail Tinjauan Balok

4.2.1 Balok Induk (B1)

Dengan L (Bentang Balok) ialah 720 cm dapat diperhitungkan sesuai persamaan 4.2 sebagai berikut :

❖ Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{16} \right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{f_y}{700} \right) \right)$$

$$h_{\min} = \left(\frac{720}{16} \right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{400}{700} \right) \right) = 43,71 \text{ cm}$$

Maka digunakan h untuk balok yaitu 70 cm atau 700 mm.

❖ Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 70 = 46,667 \text{ cm}$$

Maka digunakan b untuk balok yaitu 40 cm atau 400 mm.

Dimensi Balok Induk (B1) dengan bentang 720 cm digunakan 40/70 cm.

4.2.2 Balok Anak (B2)

Dengan L (Bentang Balok) ialah 720 cm dapat diperhitungkan sesuai persamaan 4.2 sebagai berikut :

❖ Tinggi Balok (h)

$$h_{\min} = \left(\frac{720}{21} \right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{400}{700} \right) \right) = 33,306 \text{ cm}$$

Maka digunakan h untuk balok anak yaitu 50 cm atau 500 mm.

❖ Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 70 = 46,667 \text{ cm}$$

Maka digunakan b untuk balok anak yaitu 30 cm atau 300 mm.

Dimensi balok anak (B2) dengan bentang 720 cm digunakan 30/50 cm.

4.2.3 Balok Kantilever (B3)

Dengan L (Bentang Balok) ialah 240 cm dapat diperhitungkan sesuai persamaan 4.2 sebagai berikut :

❖ Tinggi Balok (h)

$$h = \left(\frac{L}{8}\right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{f_y}{700}\right)\right)$$

$$h = \left(\frac{240}{8}\right) \cdot \left(0,4 + \left(\frac{400}{700}\right)\right) = 29,143 \text{ mm}$$

Maka Digunakan h untuk balok anak yaitu 50 cm atau 500 mm

❖ Lebar Balok (b)

$$b = \frac{2}{3} \cdot h = \frac{2}{3} \cdot 50 = 33,333 \text{ cm}$$

Maka digunakan b untuk balok yaitu 30 cm atau 300 mm.

Dimensi Balok Kantilever (B3) dengan bentang 240 cm digunakan 30/50 cm.

Dari hasil perhitungan perencanaan awal desain balok direkapitulasi pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Rekapitulasi Preliminary Desain Balok

Tipe Balok	Bentang (m)	H Pakai (cm)	B Pakai (cm)
Balok Induk (B1)	7,2	70	40
Balok Anak (B2)	7,2	50	30
Balok Kantilever (B3)	2,4	50	30

4.3 Preliminary Desain Pelat

Ketebalan pelat lantai diperkirakan : $t = \frac{\ell}{3}$. Namun, untuk memenuhi syarat lendutan, ketebalan minimum dari pelat harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.2 – 9.5.3.3, yaitu:

$$\text{❖ } m \quad 0,2 \quad \rightarrow \text{Pasal 9.5.3.2 : } h = 125 \text{ mm}$$

$$\text{❖ } 0,2 \quad m \quad 2$$

$$h = \frac{\ell n \left(0,8 + \frac{f}{1}\right)}{3 + 5\beta (\alpha_f - 0,2)} \text{ dan tidak boleh kurang dari 125 mm}$$

❖ $m > 2$

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f}{1} \right)}{3 + 9\beta} \quad \text{dan tidak boleh kurang dari 90 mm}$$

Dimana :

ℓ_n = panjang bentang bersih (muka ke muka tumpuan)
= rasio dimensi bentang bersih untuk pelat dua arah

α_f = nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel

f_y = mutu tulangan baja (MPa)

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 8.12(1) dan pasal 8.12(2) disebutkan beberapa kriteria menentukan lebar efektif (b_e) dari balok T.

➤ **Interior**

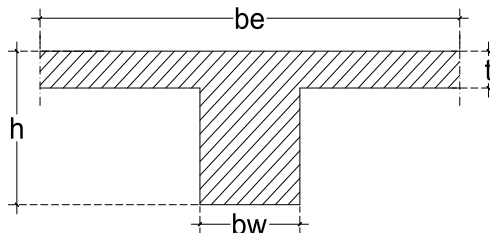
$$b_{e1} = \frac{1}{4} L_b$$

$$b_{e2} = 8t$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2} L_b$$

} B_{eff}

Untuk potongan melintang balok T interior terdapat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Potongan Melintang Balok Interior

➤ **Eksterior**

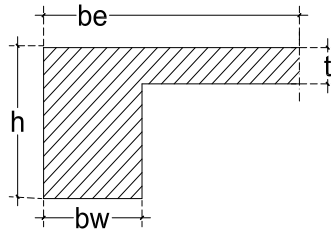
$$b_{e1} = \frac{1}{12} L_b$$

$$b_{e2} = 6t$$

$$b_{e3} = \frac{1}{2} L_b$$

} B_{eff}

Untuk potongan melintang balok T eksterior terdapat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 Potongan Melintang Balok Eksterior

Berdasarkan bukunya “*Desain Beton Bertulang*, oleh *Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon*, menyatakan bahwa momen inersia dari penampang balok dengan flens terhadap sumbu putarnya

senilai $I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$ dengan nilai k sebagai berikut :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw}\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} \quad (4.3)$$

$$\text{Dan } I_p = b_p \times \frac{t^3}{12} \quad (4.4)$$

Dimana:

be = lebar efektif, harga minimum (cm)

bw = lebar badan balok (cm)

t = tebal rencana pelat (cm)

h = tinggi balok (cm)

Untuk menentukan tebal pelat diambil satu macam pelat :

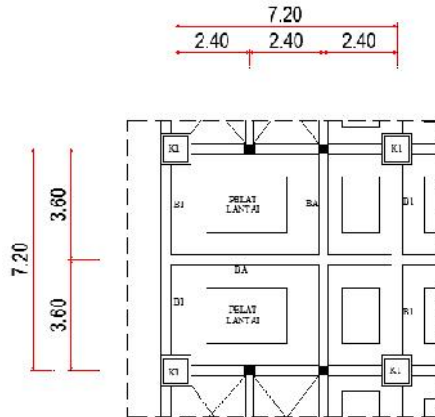
❖ Tipe Pelat 1 (S1) dengan dimensi 480 cm x 360 cm sebagai berikut :

$$L = 480 - \left(\frac{4}{2} + \frac{3}{2}\right) = 445 \text{ c}$$

$$S = 360 - \left(\frac{4}{2} + \frac{3}{2}\right) = 325 \text{ c}$$

$$\beta = \frac{L}{S} = \frac{4}{3} = 1,369 < 2 \quad (P \quad d \quad a \quad h)$$

Berikut pelat lantai bangunan yang akan ditinjau dalam contoh perhitungan preliminary desain:



Gambar 4.5 Tinjauan Pelat Lantai

4.3.1 Kontrol Tebal Pelat (diambil contoh ukuran panel t 480/360)

Tahapan untuk penentuan tebal pelat lantai disajikan pada perhitungan sebagai berikut :

➤ Balok 40/70

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$L_y = 4800 \text{ mm}$$

$$L_x = 3600 \text{ mm}$$

$$= 1,00$$

$$be = \frac{1}{4} \cdot 4800 = 1200 \text{ mm}$$

$$be = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

$$be = \frac{1}{2} \cdot 4800 = 2400 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} B_{eff} = 960 \text{ mm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be_{eff}}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be_{eff}}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be_{eff}}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{96}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{70}\right) + 4 \left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{96}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{96}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$k = 1,412$$

$$I_{bT} = \frac{k \cdot bw \cdot h^3}{12} = \frac{1,412 \cdot 40 \cdot 70^3}{12} = 1614708,817 \text{ cm}^4$$

$$I_p = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \cdot 480 \cdot 12^3 = 69120,000 \text{ cm}^4$$

$$E_c = E_c = 4700 \cdot f_c^{0,5} = 4700 \cdot 30^{0,5} = 25742,960$$

$$\alpha_1 = \frac{E \cdot I_{bT}}{E \cdot I_p} = \frac{25742,960 \cdot 254000,000}{25742,960 \cdot 60480,000} = 23,316$$

➤ Balok 30/50

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$L_y = 4800 \text{ mm}$$

$$L_x = 3600 \text{ mm}$$

$$= 1,000$$

$$be = \frac{1}{4} \cdot 4800 = 1200 \text{ mm}$$

$$be = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

$$be = \frac{1}{2} \cdot 4800 = 2400 \text{ mm}$$

$$B_{eff} = 960 \text{ mm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_{eff}}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_{eff}}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_{eff}}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{96}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{96}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{96}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,662$$

$$I_{bT} = \frac{k \cdot b \cdot w \cdot h^3}{12} = \frac{1,662 \cdot 30 \cdot 50^3}{12} = 519518,848 \text{ cm}^4$$

$$I_p = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 = \frac{1}{12} \cdot 480 \cdot 12^3 = 69120,000 \text{ cm}^4$$

$$E_c = E_c = 4700 \cdot f_c^{0,5} = 4700 \cdot 30^{0,5} = 25742,960$$

$$\alpha_1 = \frac{E \cdot I_{bT}}{E \cdot I_p} = \frac{25742,960 \cdot 222826,667}{25742,960 \cdot 60480,000} = 7,516$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{23,361 + 7,516}{2} = 15,439 \geq 2,000$$

$$h = \frac{Ln \cdot \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9 \cdot \beta}$$

$$h = \frac{480 - 0,5(40 + 30) \cdot \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9 \cdot \beta}$$

$$h = \frac{445 \cdot \left(0,8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 9 \cdot 1} = 7,370 \text{ cm}$$

nilai h tidak boleh kurang dari 90 mm

h dipakai = 120,000 mm

= 12,000 cm

Direncanakan pelat lantai menggunakan ketebalan 12 cm untuk lantai 1 - 13, sedangkan untuk lantai basement direncanakan ketebalan 15 cm.

4.4 Preliminary Desain Kolom

Perencanaan elemen struktur kolom terdapat pada SNI 03-2847-2013 Pasal 13.7.4. Preliminary design kolom dilakukan dengan menghitung kebutuhan dimensi kolom terhadap beban aksial yang dipikulnya. Pada gedung ini beban aksial yang bekerja adalah:

❖ **Beban mati**

- Beban lapisan *waterproofing* : 0,050 kN/m²
- Beban Keramik + Spesi : 1,100 kN/m²
- Beban ducting mekanikal : 0,191 kN/m²
- Beban penggantung langit-langit : 0,100 kN/m²
- Beban Plafon : 0,050 kN/m²

❖ **Beban hidup**

- Lantai ruang kantor : 2,40 kN/m² (SNI 1727:2013)
- Atap datar : 0,96 kN/m² (SNI 1727:2013)
- Beban Partisi : 0,72 kN/m² (SNI 1727:2013)

Direncanakan dimensi kolom bujur sangkar pada lantai basement. Pada perencanaan kolom yang mengalami pembebanan paling besar adalah kolom yang memikul bentang 800cmx800cm.

Tebal Pelat Lantai 1 – Lantai 13 : 120 mm

Tebal Pelat Lantai Basement : 150 mm

Tinggi lantai :

Lantai Dasar = 700 cm

Lantai 2 - 13 = 450 cm

Lantai basement = 350 cm

❖ **Beban tributary untuk kolom basement**

Beban rencana diasumsikan dan disajikan dalam tabel 4.2 untuk beban tributari pada kolom basement sebagai berikut :

Tabel 4.2 Beban Tributary Untuk Kolom Basement

➤ **Lantai Atap**

Pelat Lantai	:	7,2 m x 7,2 m x 0,12 m x 23,52 kN/m ³	=	146,313	kN
Balok Induk	:	7,2 m x 0,4 m x 0,7 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	94,833	kN
Balok Anak	:	7,2 m x 0,3 m x 0,5 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	50,803	kN
Plafond	:	7,2 m x 7,2 m x 0,05 kN/m ²	=	2,592	kN

Penggantung plafond	:	7,2 m x 7,2 m x 0,1 kN/m ²	=	5,184	kN
Keramik+spesi	:	7,2 m x 7,2 m x 1,1 kN/m ²	=	57,024	kN
Ducting Mekanikal	:	7,2 m x 7,2 m x 0,19 kN/m ²	=	9,850	kN
Lap. Waterproof	:	7,2 m x 7,2 m x 0,05 KN/m ²	=	2,592	kN
Berat Total			=	369,191	kN

➤ Lantai dasar - 13 typical

Pelat Lantai	:	7,2 m x 7,2 m x 0,12 m x 23,52 kN/m ³	=	146,313	kN
Balok Induk	:	7,2 m x 0,4 m x 0,7 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	94,833	kN
Balok Anak	:	7,2 m x 0,3 m x 0,5 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	50,803	kN
Plafond	:	7,2 m x 7,2 m x 0,05 kN/m ²	=	2,592	kN
Penggantung plafond	:	7,2 m x 7,2 m x 0,1 kN/m ²	=	5,184	kN
Keramik+spesi	:	7,2 m x 7,2 m x 1,1 kN/m ²	=	57,024	kN
Partisi	:	7,2 m x 7,2 m x 0,72 kN/m ²	=	37,325	kN
Ducting Mekanikal	:	7,2 m x 7,2 m x 0,19 kN/m ²	=	9,850	kN
Berat Total			=	403,924	kN

➤ Lantai Basement

Pelat Lantai	:	7,2 m x 7,2 m x 0,15 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	365,783	kN
Balok Induk	:	7,2 m x 0,4 m x 0,7 m x 23,52 kN/m ³ x 2	=	94,833	kN

Balok Anak	:	$7,2 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ $\times 23,52 \text{ kN/m}^3 \times 2$	=	50,803	kN
Keramik+spesi	:	$7,2 \text{ m} \times 7,2 \text{ m} \times 1,1$ kN/m^2	=	57,024	kN
Ducting Mekanikal	:	$8,0 \text{ m} \times 8,0 \text{ m} \times 0,19$ kN/m^2	=	9,850	kN
Berat Total			=	578,293	kN

➤ Asumsi Beban akibat berat sendiri kolom :

Kolom (1-13)	:	$0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times$ $23,52 \text{ kN/m}^3 \times 13 \text{ tingkat}$	=	880,589	kN
Kolom (Basement)	:	$0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times$ $23,52 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ lantai}$	=	52,685	kN

Jadi berat total (**P**) lantai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= 369,191 \text{ kN} + 403,924 \text{ kN} (13 \text{ tingkat}) + 578,293 \text{ kN} (1 \text{ tingkat}) \\
 &+ 880,589 \text{ kN} + 52,685 \text{ kN} \\
 &= 7131,770 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

➤ Beban Hidup :

Lantai dasar-atap	:	$8 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2,4$ $\text{kN/m}^2 \times 13 \text{ tingkat}$	=	1996,800	kN
Basement/parkir	:	$8 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3,92$ $\text{kN/m}^2 \times 1 \text{ tingkat}$	=	250,880	kN

Koefisien reduksi untuk beban hidup gedung perkuliahan

(PPIUG tabel 4) = 0,75

Koefisien reduksi untuk beban hidup tempat kendaraan/basement

(PPIUG tabel 4) = 0,90

Jadi total beban untuk beban hidup :

$$\begin{aligned}
 LL &= 1996,800 \text{ kN} (0,75) + 250,880 \text{ kN} (0,9) \\
 &= 1723,392 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ total} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (7131,770 \text{ kN}) + 1,6 (1723,392 \text{ kN}) \\
 &= 11315,551 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mutu beton (f'c)} &= 40 \text{ MPa} \\ &= 40 \text{ N/mm}^2 \\ &= 40.000 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

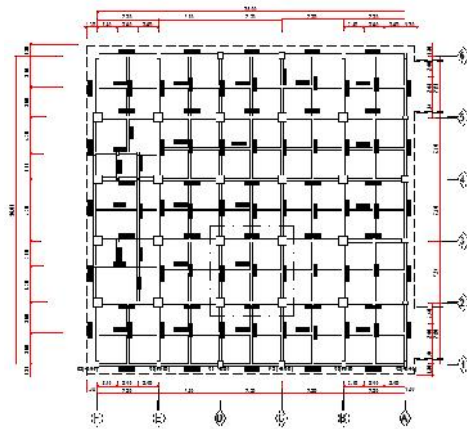
$$\text{Dimensi : } A = 3x \frac{P}{f'c} = 3x \frac{1,5}{4 \cdot 0} = 0,849 \text{ m}^2$$

$$\text{Dimensi : } b^2 = 0,849 \text{ m}^2, b = 0,900 \text{ m} \quad 100 \text{ cm}$$

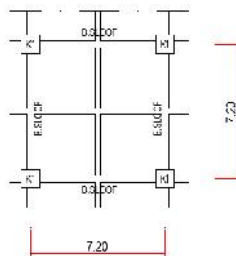
Digunakan dimensi untuk kolom pada basement ialah 100 cm x 100 cm.

4.5 Preliminary Desain Sloof (Tie Beam)

Berikut gambar tinjauan Sloof :



Gambar 4.6 Tinjauan Sloof



Gambar 4.7 Detail Tinjauan Sloof

Dimensi kolom = 100 x 100 cm

Dengan L (Bentang Balok) = 720 cm

❖ I kolom

$$I_{kol} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 100^3}{12} = 8333333 \text{ cm}^4$$

❖ I sloof

$$I_s = \frac{L_{sloof} \cdot I_{kolom}}{L_{kolom}} = \frac{720 \cdot 8333333}{720} = 8333333 \text{ cm}^4$$

❖ Tinggi Sloof (h)

$$I_{sloof} = \frac{1}{12} \times \frac{1}{2} h \times h^3$$

$$8333333 = \frac{1}{0,5} \times h^4$$

$$H = 100 \text{ cm}$$

$$H \text{ pakai} = 70 \text{ cm}$$

Digunakan h untuk sloof yaitu 70 cm atau 700 mm

❖ Lebar Balok (b)

$$b = \frac{1}{2} \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 70 = 35 \text{ cm}$$

Maka digunakan b untuk sloof yaitu 40 cm atau 400 mm

Dimensi Sloof digunakan 40/70 cm.

4.6 Preliminary Desain Dinding Geser (*Shear Wall*)

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 14.5.3.1, menggunakan metode desain empiris ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi atau panjang bagian dinding secara lateral, diambil yang terkecil dan tidak kurang dari 100 mm.

Direncanakan :

Tebal dinding geser = 30 cm

Panjang bentang = 7,2 m

Tinggi perlantai = 4,5 m dan 7,0 m

Syarat :

$$30 \text{ cm} > \frac{H}{25} = \frac{450 \text{ cm}}{25} = 18 \text{ cm}$$

$$30 \text{ cm} > \frac{H}{25} = \frac{700 \text{ cm}}{25} = 28 \text{ cm}$$

$$30 \text{ cm} > \frac{H}{25} = \frac{720 \text{ cm}}{25} = 28,8 \text{ cm}$$

Tebal dinding geser tidak boleh kurang dari 100 mm. Jadi, tebal dinding geser sebesar 30 cm dapat digunakan untuk dinding struktural.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB V

ANALISA PEMBEBANAN

5.1 Beban Gravitasi

Pada elemen struktur gedung dikenai beban gravitasi, beban gravitasi yang terjadi mengacu pada peraturan SNI 1727-2013, ASCE 7-2002, dan brosur material yang ada pada saat ini. Untuk brosur material terdapat pada lampiran B. Adapun beban gravitasi yang terjadi akan diterapkan pada perhitungan dan program bantu SAP 2000.

5.1.1 Beban Mati (D)

Beban mati terdiri atas berat sendiri seluruh elemen struktur dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, lantai, atap, plafon dan partisi. Beban mati terdiri dari dua macam, antara lain :

- a. Berat sendiri (*Self Weight*, DL) :

Berat Beton	: 2400 kg/m ³
-------------	--------------------------
- b. Berat sendiri tambahan (*Superimposed Dead Load*, SDL) :

Beban dinding bata ringan	: 90 kg/m ²	(brosur)
Beban keramik	: 18 kg/m ²	(brosur)
Beban spesi dinding	: 1,0 kg/m ²	(brosur)
Beban spesi keramik	: 38 kg/m ²	(brosur)
Beban pegangan tangga	: 80 kg/m ²	(SNI 1727-2013)
Beban <i>ducting mechanical</i>	: 19 kg/m ²	(ASCE-7-2002)
Beban plafon	: 5,0 kg/m ²	(ASCE-7-2002)
Beban penggantung plafon	: 10 kg/m ²	(ASCE-7-2002)
Beban lapisan <i>waterproofing</i>	: 0,1 kg/m ²	(ASCE-7-2002)
Beban <i>floor hardener</i>	: 7,0 kg/m ²	(brosur)
Beban tandon	: 90 kg/m ²	(brosur)
Beban genset	: 830 kg/m ²	(brosur)
Beban <i>lift</i>	: 6900 kg	(brosur)
Beban lateral tanah (H)	: 6394 kg/m ²	(SNI 1727-2013)

5.1.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau beban akibat fenomena alam. Bergantung fungsi ruang, maka beban hidup dapat di bedakan sesuai dengan SNI 1727-2013 tabel 4.1, disajikan sebagai berikut :

- a. Beban hidup (L)

Beban lokasi parkir	: 154 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban <i>hall</i> (lobi)	: 424 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban ruang kelas	: 154 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban ruang komputer	: 424 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban ruang baca	: 230 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban ruang kantor	: 192 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban bordes	: 264 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban anak tangga	: 264 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban <i>lift</i>	: 6867 kg (brosur)
- b. Beban hidup atap (Lr)

Beban air hujan	: 110 kg/m ² (SNI 1727-2013)
Beban atap	: 77 kg/m ² (SNI 1727-2013)

Beban hidup diatas telah direduksi sesuai dengan syarat SNI 1727-2013 pasal 4.7.2 dan 4.7.3 dengan bangunan lebih dari 2 lantai direduksi sebesar 20 persen sedangkan untuk beban hidup lebih dari sama dengan 497 kg/m² harus direduksi dengan faktor sesuai dengan pasal 4.7.2.

Dari hasil perhitungan diatas dapat direkapitulasi beban mati sendiri (DL), beban mati tambahan (SDL), dan beban hidup (LL) pada tabel 5.1 dibawah ini :

Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Gravitasi yang Terjadi pada Bangunan Gedung

REKAPITULASI BEBAN MATI SENDIRI, BEBAN MATI TAMBAHAN, DAN BEBAN HIDUP PADA BANGUNAN GEDUNG				
LANTAI	DL (kg)	SDL (kg)	LL (kg)	TOTAL (kg)
Basement	1.378.770	96.062	200.042	1.674.874
1	1.574.485	296.551	392.504	2.263.539
2	1.261.959	237.073	370.425	1.869.457
3	1.164.018	255.228	337.732	1.756.979
4	954.930	239.504	271.343	1.465.777
5	728.424	200.321	198.099	1.126.844
6	728.770	200.321	198.099	1.127.190
7	728.770	194.424	197.453	1.120.648
8	728.770	203.270	324.039	1.256.078
9	728.770	219.486	212.885	1.161.140
10	728.943	219.486	212.885	1.161.313
11	731.967	200.321	191.100	1.123.388
12	718.020	181.280	339.794	1.239.093
13	518.314	172.034	76.495	766.842
14	347.587	19.448	112.020	479.056
SHEAR WALL	1.938.902	-	-	-
TOTAL	14.961.397	2.934.809	3.634.914	21.531.121

5.2 Beban Gempa

Analisa pembebanan gempa pada gedung ini mengacu pada SNI 1726-2012 dengan tinjauan lokasi gempa pada daerah Malang, Jawa Timur. Adapun langkah-langkahnya yaitu:

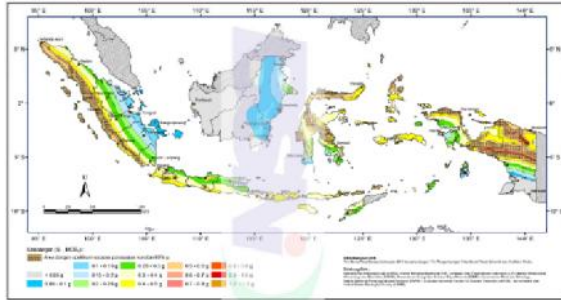
1. Menetapkan kategori risiko bangunan berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 1. Untuk gedung yang direncanakan pada tugas akhir ini kategori resiko adalah IV.
2. Menentukan faktor keutamaan gempa berdasarkan tabel 5.2.

Tabel 5.2 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012 Tabel 2)

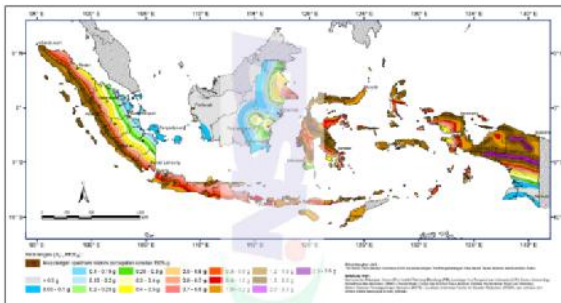
Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I	1,00
II	1,00
III	1,25
IV	1,50

3. Menentukan parameter percepatan gempa terpetakan (S_s dan S_I) berdasarkan Peta Gempa Hazard Indonesia untuk gempa rencana 2500 tahun (2% dalam 50 tahun). Didapat nilai S_I ialah

0,300 dan S_s ialah 0,860 dari Peta Gempa Hazard untuk Indonesia 2010.



Gambar 5.1 Peta Untuk S_1 ($T=1s$, probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%))



Gambar 5.2 Peta Untuk S_s ($T=0,2s$, probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%))

4. Analisa data N-SPT

Dari data tanah yang diperoleh diolah dan diperoleh hasil analisa yang disajikan dalam tabel 5.3 sebagai berikut:

Tabel 5.3 Analisa Hasil Data Tanah Borlog

Data tanah berupa N-SPT			
Lapisan tanah ke-i	Tebal lapisan (di) (m)	Deskripsi jenis tanah	Nilai N-SPT
1	1	lempung kepasiran, kelanauan, coklat kemerahan	5,00
2	2	lempung kepasiran, kelanauan, coklat kemerahan	7,00
3	2	Lanau kelepungan sedikit pasir, warna coklat	5,00
4	2	Lana sedikit pasir, coklat abu kekuningan	19,00
5	2	Lempung sedikit lanau, coklat kemerahan	50,00
6	2	lanau kepasiran, kuning keabuan	50,00
7	2	pasir kasar dan kerikil, abu abu kehitaman	50,00
8	2	lanau kepasiran, kuning keabuan	31,00
9	2	lanau kepasiran, coklat keabuan	50,00
10	2	lanau kepasiran, coklat keabuan kehitaman	50,00
11	2	lanau kepasiran, kuning keabuan	50,00
12	2	lanau kepasiran, coklat keabuan	12,00
13	2	lanau kepasiran, coklat keabuan kehitaman	7,00
Total	25		

$\sum_{i=1}^n d_i = d_1 + d_2 + d_3$	=	25
$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i} = \frac{d_1}{N_1} + \frac{d_2}{N_2} + \frac{d_3}{N_3}$	=	1,748
$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$	=	14,303

Keterangan :

i : Lapisan tanah ke- i

N_i : Tahanan penetrasi standart (pukulan)

d_i : Tebal lapisan atau kedalaman lapisan tanah (m¹)

$$\bar{N} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{N_i}} = \frac{25}{1,748} = 14,302$$

5. Menentukan klasifikasi situs berdasarkan tabel 5.4.

Berdasarkan hasil analisa data tanah pada tabel 5.3, maka didapat klasifikasi situs tanah pada tabel 5.4 sebagai berikut :

Tabel 5.4 Klasifikasi Situs (SNI 03-1726-2012 Tabel 3)

Kelas Situs	\bar{V}_s	\bar{N} or \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u
SA (batuan keras)	>1500 m/s	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500 m/s	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750 m/s	>50	100 kN/m ²
SD (tanah sedang)	175 sampai 350 m/s	15-50	50 sampai 100 kN/m ²
SE (tanah lunak)	< 175 m/s	< 15	<50 kN/m ²
	Atau setiap profil tanah yang mengandung 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: Indeks plastisitas, $PI > 20$ Kadar air, $w \geq 40\%$ Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat senditif, tnah tersementasi lemah Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$)		

	Lapisan lempung lunak/ setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa
--	---

6. Menentukan koefisien situs (F_a dan F_v) berdasarkan Tabel 5.5 dan Tabel 5.7.

Tabel 5.5 Koefisien Situs F_a (SNI 03-1726- 2012 Tabel 4)

Klasifikasi Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MCE_R pada periode pendek				
	S_s 0,25	$S_s =$ 0,5	$S_s =$ 0,75	$S_s =$ 1,0	S_s 1,25
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Lihat ketentuan pasal 6.10.1				

Catatan : Gunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai antara S_s

Dari penentuan nilai S_s didapat nilai 0,860 yaitu antara 0,75 dengan 1 dan klasifikasi situs tanah E, sehingga untuk mendapat nilai F_a harus diinterpolasi sebagai berikut :

Tabel 5.6 Interpolasi Koefisien Situs F_a (SNI 1726-2012)

INTERPOLASI LINEAR (F_a)	
X	0,86
Y	1,07
X1	0,75
Y1	1,2
X2	1
Y2	0,9

Didapat nilai F_a ialah 1,07

Tabel 5.7 Koefisien Situs F_v (SNI 03-1726- 2012 Tabel 5)

Klasifikasi Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MCE_R pada periode 1 s				
	S_I 0,1	$S_I=$ 0,2	$S_I=$ 0,3	$S_I=$ 0,4	S_I 0,5
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Lihat ketentuan pasal 6.10.1				
Catatan : Gunakan interpolasi linier untuk nilai-nilai antara S_I					

Karena nilai S_{d1} 0,3 dengan situs tanah E, nilai F_v ialah 2,8.

7. Menghitung parameter percepatan desain spektral dengan Persamaan (5-3) dan (5-4) (SNI 03-1726-2012 pasal 6.2 dan pasal 6.3). Dengan terlebih dahulu melakukan perhitungan untuk nilai S_{MS} dan S_{M1} sebagai berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (5.1)$$

$$= 1,070 \times 0,860$$

$$= 0,918$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (5.2)$$

$$= 2,800 \times 0,300$$

$$= 0,840$$

Dari perhitungan diatas diperoleh :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \quad (5.3)$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 0,918$$

$$= 0,612$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad (5.4)$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 0,840$$

$$= 0,560$$

8. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan Tabel 5.8 dan Tabel 5.9.

Tabel 5.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SNI 1726-2012 Tabel 6)

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 5.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 s (SNI 03-1726-2012 Tabel 7)

Nilai SD_1	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD_1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD_1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD_1$	D	D

Dari hasil kedua tabel diatas diambil nilai KDS terbesar yaitu KDS D untuk bangunan gedung ini.

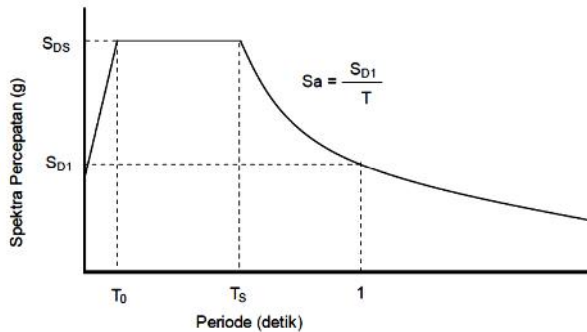
9. Menentukan koefisien modifikasi respon (R) sebesar 8, faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar $5\frac{1}{2}$, dan faktor kuat lebih sistem (ϕ) sebesar 3 untuk tinjauan SRPMK. Untuk dinding geser koefisien modifikasi respon (R) sebesar 7, faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,5 dan faktor kuat lebih sistem (ϕ) sebesar 2,5 berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 9.

10. Menentukan prosedur analisis gaya gempa berdasarkan SNI-1726-2012 Tabel 13.

Pemilihan prosedur analisis struktur menggunakan analisis respon spektrum.

11. Melakukan analisis modal respon spektrum

Analisis modal respon spektrum dilakukan dengan menggambar dan memasukkan grafik respon spektrum rencana ke dalam program analisis struktur (*SAP 2000*). Ketentuan mengenai penggambaran grafik respon spektrum dijelaskan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Ketentuan Penggambaran Grafik Respon Spektrum

Pada periode $T < T_0$, respon spektra percepatan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (5.5)$$

Pada periode $T_0 \leq T \leq T_s$, respon spektra percepatan :

$$S_a = S_{DS} \quad (5.6)$$

Pada $T > T_s$, respon spektra percepatan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (5.7)$$

Dengan :

$$T_0 = \frac{0,2S_{DI}}{S_{DS}} \quad (5.8)$$

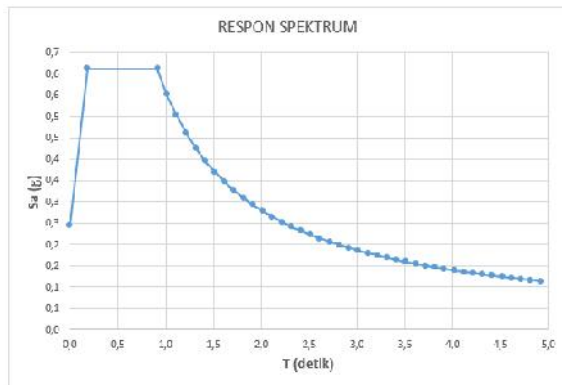
$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (5.9)$$

Dengan ketentuan persamaan diatas, didapat :

	T0	Ts
2% 50 Tahun	0,183	0,915

	Gempa 2500 Tahun	
<i>T</i>	T	Sa
<i>detik</i>	detik	(g)
0	0,000	0,245
T0	0,183	0,612
Ts	0,915	0,612
Ts+0.1	1,015	0,552
Ts+0.2	1,115	0,502
Ts+0.3	1,215	0,461
Ts+0.4	1,315	0,426
Ts+0.5	1,415	0,396
Ts+0.6	1,515	0,370
Ts+0.7	1,615	0,347
Ts+0.8	1,715	0,327
Ts+0.9	1,815	0,309
Ts+1.0	1,915	0,292
Ts+1.1	2,015	0,278
Ts+1.2	2,115	0,265
Ts+1.3	2,215	0,253

Ts+1.4	2,315	0,242
Ts+1.5	2,415	0,232
Ts+1.6	2,515	0,223
Ts+1.7	2,615	0,214
Ts+1.8	2,715	0,206
Ts+1.9	2,815	0,199
Ts+2.0	2,915	0,192
Ts+2.1	3,015	0,186
Ts+2.2	3,115	0,180
Ts+2.3	3,215	0,174
Ts+2.4	3,315	0,169
Ts+2.5	3,415	0,164
Ts+2.6	3,515	0,159
Ts+2.7	3,615	0,155
Ts+2.8	3,715	0,151
Ts+2.9	3,815	0,147
Ts+3.0	3,915	0,143
Ts+3.1	4,015	0,139
Ts+3.2	4,115	0,136
Ts+3.3	4,215	0,133
Ts+3.4	4,315	0,130
Ts+3.5	4,415	0,127
Ts+3.6	4,515	0,124
Ts+3.7	4,615	0,121
Ts+3.8	4,715	0,119
Ts+3.9	4,815	0,116
Ts+4	4,915	0,114



Gambar 5.4 Grafik Respon Spektrum

12. Analisa Desain Spektra Sesuai Puskim

Desain respon spektrum dapat juga melalui akses pada website Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (PUSKIM). Berikut hasil analisa desain spektra sesuai dengan akses pada website puskim :

Hasil Perhitungan dari Akses Website Puskim

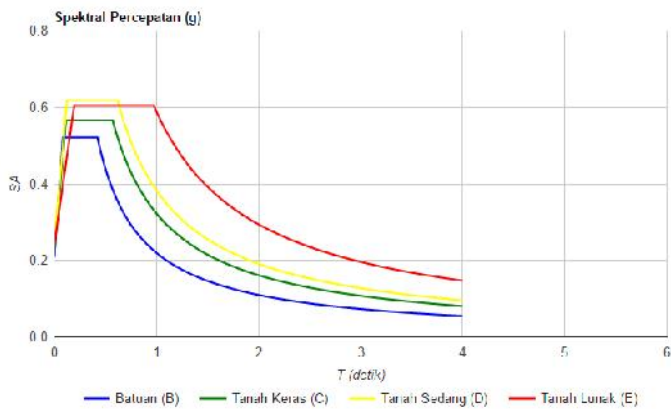
	S_s	S_1	F_a	F_v	S_{ms}	S_{m1}	S_{ds}	S_{d1}
2% 50 Tahun	0,781	0,33	1,16	2,68	0,908	0,885	0,606	0,590

	T_0	T_s
2% 50 Tahun	0,195	0,974

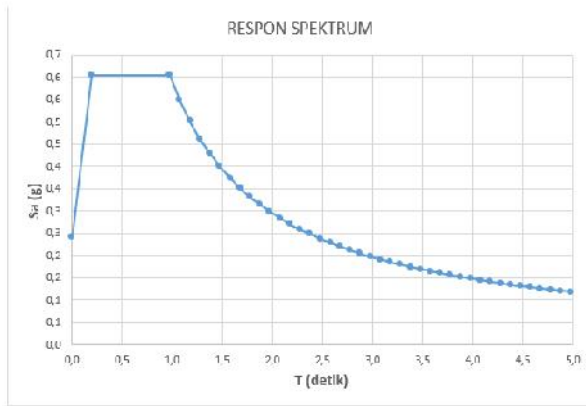
T	T	S_a
detik	detik	(g)
0	0,000	0,242
T_0	0,195	0,606
T_s	0,974	0,606
$T_s+0.1$	1,074	0,549
$T_s+0.2$	1,174	0,502
$T_s+0.3$	1,274	0,463

Ts+0.4	1,374	0,429
Ts+0.5	1,474	0,400
Ts+0.6	1,574	0,375
Ts+0.7	1,674	0,352
Ts+0.8	1,774	0,332
Ts+0.9	1,874	0,315
Ts+1.0	1,974	0,299
Ts+1.1	2,074	0,284
Ts+1.2	2,174	0,271
Ts+1.3	2,274	0,259
Ts+1.4	2,374	0,248
Ts+1.5	2,474	0,238
Ts+1.6	2,574	0,229
Ts+1.7	2,674	0,221
Ts+1.8	2,774	0,213
Ts+1.9	2,874	0,205
Ts+2.0	2,974	0,198
Ts+2.1	3,074	0,192
Ts+2.2	3,174	0,186
Ts+2.3	3,274	0,180
Ts+2.4	3,374	0,175
Ts+2.5	3,474	0,170
Ts+2.6	3,574	0,165
Ts+2.7	3,674	0,161
Ts+2.8	3,774	0,156
Ts+2.9	3,874	0,152
Ts+3.0	3,974	0,148
Ts+3.1	4,074	0,145
Ts+3.2	4,174	0,141

Ts+3.3	4,274	0,138
Ts+3.4	4,374	0,135
Ts+3.5	4,474	0,132
Ts+3.6	4,574	0,129
Ts+3.7	4,674	0,126
Ts+3.8	4,774	0,124
Ts+3.9	4,874	0,121
Ts+4	4,974	0,119



Gambar 5.5 Grafik Respon Spektrum Website Puskim untuk Daerah Kota Malang



Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum dari Data Puskim

Dapat digunakan grafik respon spektrum dengan nilai spektral percepatan S_a (g) terbesar sebagai input pada program bantu SAP 2000 antara perhitungan manual dengan perhitungan dari akses website puskim. Perencana menggunakan perhitungan manual sebagai acuan untuk input pada program bantu SAP 2000.

5.3 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur beton harus mampu memikul semua beban kombinasi pembebanan di bawah ini berdasarkan SNI 03-1726-2012 :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$ (L_r atau R)
3. $1,2D + 1,6L + 0,5R$ (L_r atau R)
4. $1,2D + 1,6L_r$ (L_r atau R) + $1,0L$ (L atau $0,5W$)
5. $1,2D + 1,6L_r$ (L_r atau R) + $0,5W$ (L atau $0,5W$)
6. $1,2D + 1,6R$ (L_r atau R) + $1,0L$ (L atau $0,5W$)
7. $1,2D + 1,6R$ (L_r atau R) + $0,5W$ (L atau $0,5W$)
8. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5L_r$ (L_r atau R)
9. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5R$ (L_r atau R)
10. $0,9D + 1,0W$

11. $1,2D + 1,0EX + 1,0L$
12. $1,2D + 1,0EY + 1,0L$
13. $0,9D + 1,0EX$
14. $0,9D + 1,0EY$
15. $(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0)EX + 1,0L$
 $\rightarrow 1,32D + 1,3EX + 1,0L$
16. $(1,2+0,2S_{DS})D + (1,0)EY + 1,0L$
 $\rightarrow 1,32D + 1,3EY + 1,0L$
17. $(0,9-0,2S_{DS})D + (1,0)EX + 1,6H$
 $\rightarrow 0,78D + 1,3EX + 1,6H$
18. $(0,9-0,2S_{DS})D + (1,0)EY + 1,6H$
 $\rightarrow 0,78D + 1,3EY + 1,6H$

Keterangan :

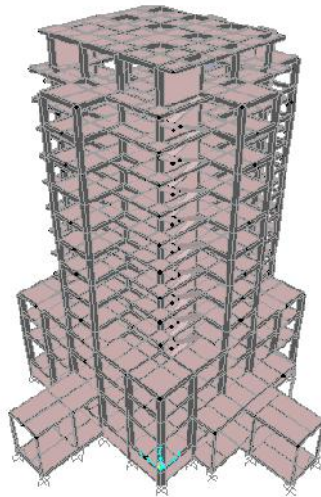
D	: Beban Mati
Lr	: Beban Hidup pada Atap
L	: Beban Hidup
R	: Beban Hujan
W	: Beban Angin
H	: Beban Lateral Tanah
E	: Beban Gempa

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB VI ANALISA PEMODELAN

6.1 Pemodelan Struktur dengan Sistem Ganda (*Dual System*)

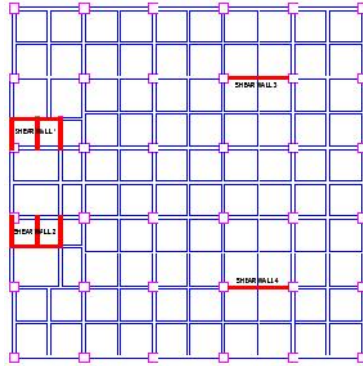
Pemodelan struktur menggunakan *software* SAP 2000 14.0.0. Struktur gedung termasuk pada kategori bangunan D, jadi struktur dimodelkan sebagai struktur portal terbuka dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding geser. Model *undeformed shape* struktur bangunan dengan sistem ganda ini dapat dilihat pada gambar 6.1 dibawah ini yang merupakan *capture picture* dari SAP 2000.



Gambar 6.1 Pemodelan Struktur 3D.

Pemodelan gedung pada arah Barat-Timur (B-T) yang searah sumbu x menggunakan sistem penahan gaya seismik sistem ganda dinding geser beton bertulang khusus, sedangkan pada arah Utara-Selatan (U-S) yang searah sumbu y menggunakan sistem penahan gaya seismik rangka beton bertulang khusus (SRPMK). Hal ini

dilakukan sesuai dengan pemodelan pada contoh pemodelan desain gedung NEHRP-FEMA 451 dan juga agar didalam pemodelan dapat dilakukan proses perhitungan dan proses desain sistem penahan gaya seismik *dual system*.



Gambar 6.2 Denah Rencana Lokasi *Shear Wall*.

6.2 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (*mass source*) adalah massa struktur pada *SAP 2000* yang digunakan pada perhitungan massa untuk analisa modal menggunakan pilihan ketiga dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban-beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran yang sesuai dengan jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah:

- Beban Dead++ : Multiplier 1.0
- Beban Live : Multiplier 0.3

6.5 Faktor Skala Gaya Beban Gempa dengan Respon Spektrum SAP 2000 untuk Sistem Ganda

Faktor Skala Gaya gempa diambil dari persamaan sebagai berikut:

❖ Untuk *Shear Wall* (arah x)

$$\begin{aligned}\text{Faktor Pembebanan} &= \frac{I}{R} \cdot g \\ &= \frac{1,5}{7} \cdot 9,8 \\ &= 2,100\end{aligned}\quad (6.1)$$

❖ Untuk *SRPM* (arah y)

$$\begin{aligned}\text{Faktor Pembebanan} &= \frac{I}{R} \cdot g \\ &= \frac{1,5}{8} \cdot 9,8 \\ &= 1,838\end{aligned}\quad (6.2)$$

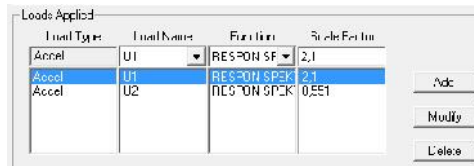
Faktor beban tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga faktor skala gaya pada arah tegak lurus gempa yang ditinjau sebagai berikut :

❖ Untuk *Shear Wall* (arah x)

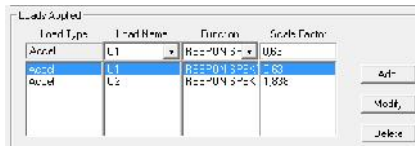
$$\begin{aligned}\text{Faktor Pembebanan} &= 30\% \text{ arah y} \\ &= 0,3 \cdot 1,838 \\ &= 0,551\end{aligned}\quad (6.3)$$

❖ Untuk *SRPM* (arah y)

$$\begin{aligned}\text{Faktor Pembebanan} &= 30\% \text{ arah x} \\ &= 0,3 \cdot 2,1 \\ &= 0,630\end{aligned}\quad (6.4)$$



Gambar 6.5 Faktor Skala Gaya RS-X.



Gambar 6.6 Faktor Skala Gaya RS-Y.

6.6 Kontrol Periode Fundamental Sistem Ganda

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan dalam SNI 1726-2012 sebagai batas bawah sebesar :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (6.5)$$

Dimana :

- h_n = ketinggian struktur
- C_t = parameter pendekatan tipe struktur
- x = parameter pendekatan tipe struktur

Untuk nilai parameter periode pendekatan dapat dilihat pada tabel 6.1 dibawah ini :

Tabel 6.1 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012, Tabel 14)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^{0,8}	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^{0,9}	0,9
Rangka baja dengan bracing eksentris	0,0731 ^{0,75}	0,75
Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^{0,75}	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^{0,75}	0,75

$$\begin{aligned}
 T_{\text{batas bawah Shear Wall}} &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0488 \times 65,3^{0,75} \\
 &= 1,121
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{batas bawah SRPM}} &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 65,3^{0,9} \\
 &= 2,000
 \end{aligned}$$

Dengan batas atas perioda fundamental struktur sebesar:

$$T_{a \text{ atas}} = C_u \cdot T_{\text{batas bawah}} \quad (6.6)$$

berdasarkan pasal 7.8.2, perioda fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung dari Tabel.14 SNI 1726-2012, sehingga T yang akan digunakan, $T_{\text{batas atas}} = C_u \cdot T_{\text{batas bawah}}$.

Tabel 6.2 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung (SNI 1726-2012, Tabel 14)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$> 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$< 0,1$	1,7

Nilai C_u ialah 1,4 karena S_{D1} ialah 0,560. $T_{\text{batas atas}}$ dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T_{\text{batas atas Shear Wall}} &= C_u \cdot T_{\text{batas bawah}} \\
 &= 1,4 \cdot T_{\text{batas bawah}} \\
 &= 1,4 \cdot 1,121 \\
 &= 1,569
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{batas atas SRPM}} &= C_u \cdot T_{\text{batas bawah}} \\
 &= 1,4 \cdot T_{\text{batas bawah}} \\
 &= 1,4 \cdot 2,000 \\
 &= 2,800
 \end{aligned}$$

Dari pemodelan pada SAP 2000 didapat :

	OutputCase Text	ItemType Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent
▶	MODAL	Acceleration	UX	100	99,5266
	MODAL	Acceleration	UY	100	99,4161
	MODAL	Acceleration	UZ	76,1314	45,2168

Gambar 6.7 Modal Load Participation Ratio

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
►	MODAL	Mode	1	2,209487	0,45259	2,8437	8,0868
	MODAL	Mode	2	1,47688	0,6771	4,2544	18,1
	MODAL	Mode	3	1,368175	0,7309	4,5924	21,09
	MODAL	Mode	4	0,695247	1,4383	9,0373	81,673
	MODAL	Mode	5	0,378896	2,6392	16,583	274,99
	MODAL	Mode	6	0,367578	2,7205	17,093	292,19
	MODAL	Mode	7	0,356779	2,8029	17,611	310,14
	MODAL	Mode	8	0,234728	4,2602	26,768	716,52
	MODAL	Mode	9	0,174437	5,7327	36,02	1297,4
	MODAL	Mode	10	0,172432	5,7994	36,439	1327,8
	MODAL	Mode	11	0,171074	5,8454	36,728	1348,9
	MODAL	Mode	12	0,170128	5,8779	36,932	1364
	MODAL	Mode	13	0,168219	5,9446	37,351	1395,1
	MODAL	Mode	14	0,162442	6,156	38,68	1496,1
	MODAL	Mode	15	0,161672	6,1854	38,864	1510,4
	MODAL	Mode	16	0,158737	6,2997	39,582	1566,8
	MODAL	Mode	17	0,153889	6,4982	40,829	1667
	MODAL	Mode	18	0,152967	6,5374	41,075	1687,2
	MODAL	Mode	19	0,149044	6,7094	42,157	1777,2
	MODAL	Mode	20	0,148683	6,7257	42,259	1785,8

Gambar 6.8 Periode dari Program SAP 2000

$T_{SAP \text{ Shear Wall (Mode 2)}} = 1,477$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut :

$T_{a \min}$	T_{sap}	T_{\max}
1,121	1,477	1,569

$T_{SAP \text{ SRPM (Mode 1)}} = 2,209$

Perbandingan nilai untuk periode fundamental struktur sebagai berikut :

$T_{a \min}$	T_{sap}	T_{\max}
2,000	2,209	2,800

Tinjauan struktur *Uncracked* untuk periode struktur pada pemodelan telah memenuhi kisaran periode struktur yang dihitung. Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, Periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

- ❖ Jika $T_c > C_u \times T_a$ maka digunakan $T = C_u \times T_a$
- ❖ Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$ maka digunakan $T = T_c$
- ❖ Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Keterangan :

T_c : Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisa struktur

Maka dari hasil analisa struktur perioda fundamental struktur yang digunakan ialah T_{sap} .

6.7 Kontrol Gaya Gempa Dasar Dinamis Struktur

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan *response spectrum* sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012 pasal 7.8.1. Untuk kontrol gaya gempa dasar dinamis ditentukan koefisien C_s adalah sebagai berikut:

❖ Nilai C_s minimum :

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot 0,612 \cdot 1,5 \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,0404 \geq 0,01$$

❖ Nilai C_s :

➤ Untuk Shear Wall (Arah X)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,612}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,131$$

➤ Untuk SRPM (Arah Y)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,612}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,115$$

❖ Nilai C_s max :

➤ Untuk Shear Wall (Arah X)

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} = \frac{0,560}{1,477 \cdot \left(\frac{7}{1,5} \right)} = 0,0812$$

➤ Untuk SRPM (Arah Y)

$$C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I} \right)} = \frac{0,560}{2,209 \cdot \left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,0475$$

Dari perhitungan nilai C_s diatas dapat direkapitulasi pada tabel 6.3 dibawah ini :

Tabel 6.3 Rekapitulasi Nilai C_s

	C_s min	C_s	C_s max	C_s pakai
Arah X	0,0404	0,1312	0,0812	0,0812
Arah Y	0,0404	0,1148	0,0475	0,0475

Penentuan gaya geser dasar dinamis struktur menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s : koefisien respons seismik.

W_t : total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup

Dapat dilihat pada tabel 5.1.

$$\begin{aligned} V_x &= C_s \cdot W_t \\ &= 0,0812 \cdot 21531121 \text{ kg} \\ &= 1749404 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= C_s \cdot W_t \\ &= 0,0475 \cdot 21531121 \text{ kg} \\ &= 1023374 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,85 V_x &= 0,85 \cdot 1705190 \text{ kg} \\ &= 1486993 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,85 V_y &= 0,85 \cdot 997510 \text{ kg} \\
 &= 869868 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Hasil analisa dinamis gaya geser gempa dari *SAP 2000* didapatkan sebesar:

Unit: kN-m				Base Reactions					
Output Case	Case Type	Step Type		Global X	Global Y	Global Z	Global MX	Global MY	Global MZ
Test	Test	Test		Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
RS-X	LnRespSpec	Max		980084,23	183622,27	17593,39	6313210,59	35803636,56	18501767,47
RS-Y	LnRespSpec	Max		290613,32	600993,33	3109,68	2057368,27	10814483,12	1787776,12

Gambar 6.9 Base Reaction dari Program *SAP 2000*

➤ Untuk arah x = 980084,23 kg

➤ Untuk arah y = 600993,33 kg

Ketentuan $V_{\text{baseshear}} > 0,85 V$ belum memenuhi, sehingga diperlukan faktor pembesaran skala gaya gempa sebagai berikut :

❖ Untuk *Shear Wall* (arah x)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembebanan} &= \frac{1}{9} \cdot 2,100 \quad (6.7) \\
 &= 3,186
 \end{aligned}$$

❖ Untuk *SRPM* (arah y)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembebanan} &= \frac{8}{6} \cdot 1,838 \quad (6.8) \\
 &= 2,660
 \end{aligned}$$

Faktor pembesaran skala gaya arah tegak lurus gempa sebesar 30% sebagai berikut :

❖ Untuk *Shear Wall* (arah x)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembebanan} &= 30\% \text{ arah y} \quad (6.9) \\
 &= 0,3 \cdot 2,660 \\
 &= 0,798
 \end{aligned}$$

❖ Untuk *SRPM* (arah y)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Pembebanan} &= 30\% \text{ arah x} \quad (6.10) \\
 &= 0,3 \cdot 3,186 \\
 &= 0,956
 \end{aligned}$$

Setelah pada program bantu *SAP 2000* faktor pembebanan gempa diatas dimasukkan, dapat diperoleh hasil *base reaction* sebagai berikut :

Unit: As Nod

Base Reactions

OutputCase Tred	CaseType Tred	StepType Tred	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m	GlobalMY Kgf-m	GlobalMZ Kgf-m
=SXX	LinFrespec	max	1486921,22	869787,57	27796,7	9218972,25	431977,2	2913347,49
=SYY	LinFrespec	max	448638,3	869787,57	9039,07	29764577,88	13400435,05	17270021,93

Gambar 6.10 Base Reaction dari Program SAP 2000 Setelah Dikalikan Pembesaran Faktor Skala Gaya

➤ Untuk arah x = 1486921,22 kg

➤ Untuk arah y = 869787,57 kg

Ketentuan $V_{\text{baseshear}} > 0,85 V$ telah memenuhi sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.9.4. disajikan dalam tabel 6.4 dibawah ini :

Tabel 6.4 Hasil Gaya Geser Dinamis Struktur

Tipe Beban Gempa		Fx (kg)	Fy (kg)	85% Statik X	85% Statik Y
Dinamik	RSPx	1486921,22	266897,98	1486933	-
	RSPy	448638,30	869787,57	-	869868

6.8 Kontrol Dual Sistem

Menurut SNI 03-1726-2012 bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja pada struktur bangunan.

Maka harus memeriksa persentase antara *base shears* yang dihasilkan oleh SRPM dan shearwall dari masing-masing kombinasi pembebanan gempa. Caranya adalah dengan menjumlah reaksi perletakan SRPM dan reaksi perletakan *shearwall* untuk kombinasi pembebanan gempa, kemudian dibandingkan persentasenya. Persentasenya dihitung dan disajikan dalam tabel 6.5 berikut ini :

Tabel 6.5 Presentase Struktur Dalam Menahan Gaya Gempa

No	Kombinasi Pembebanan	Persentase Dalam Menahan Gempa (%)			
		FX		FY	
		SRPM	SW	SRPM	SW
1	1,2DL + 1,0Ex + 1,0LL	6,90	93,10	23,80	76,20
2	1,2DL + 1,0Ex + 1,0LL	92,25	7,74	13,89	86,11

3	1,2DL + 1,0Ey + 1,0LL	28,22	71,78	66,16	33,84
4	1,2DL + 1,0Ey + 1,0LL	46,00	53,99	79,53	20,47
5	0,9DL + 1,0Ex	8,11	91,88	22,45	77,55
6	0,9DL + 1,0Ex	36,51	63,49	16,50	83,50
7	0,9DL + 1,0Ey	34,71	65,29	67,67	32,33
8	0,9DL + 1,0Ey	64,57	35,43	76,27	23,73
9	1,32DL+1,3Ex+1,0LL	7,60	92,40	23,23	76,77
10	1,32DL+1,3Ex+1,0LL	55,93	44,07	15,10	84,90
11	1,32DL+1,3Ey+1,0LL	31,06	68,94	66,87	33,13
12	1,32DL+1,3Ey+1,0LL	52,97	47,03	77,89	22,11
13	1,32DL+1,3Ex+1,6H	9,74	90,26	16,35	83,65
14	1,32DL+1,3Ex+1,6H	25,04	74,95	31,39	68,61
15	1,32DL+1,3Ey+1,6H	40,99	59,00	94,30	5,70
16	1,32DL+1,3Ey+1,6H	85,54	14,46	63,48	36,52

Dari hasil diatas, dapat dilihat bahwa persentase dari SRPM hampir semua kombinasi pembebanan gempa nilainya lebih besar dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung ini telah memenuhi syarat sebagai struktur *dual system* menurut SNI 03-1726-2012.

6.9 Kontrol Simpangan Antar Lantai

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar tingkat perlu dicari terlebih dahulu nilai perpindahan elastis, u_{xe} , dari analisis struktur. Setelah itu nilai u_{xe} dikalikan dengan faktor pembesar C_d/I_e seperti pada Persamaan (6.11). Setelah itu dapat diketahui besarnya simpangan antar tingkat yang merupakan selisih nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada suatu tingkat dengan nilai perpindahan elastis yang diperbesar pada tingkat di bawahnya. Nilai simpangan ini selanjutnya dikontrol terhadap batas simpangan. Defleksi pusat massa di Tingkat x (δx) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$u_x = \frac{C_d \cdot u_{xe}}{I_e} \quad (\text{SNI 1726-2012 Persamaan 7.8-14}) \quad (6.11)$$

Dimana :

C_d = Faktor pembesaran defleksi (5,5).

u_{xe} = Defleksi pada lantai x yang ditentukan dengan analisis elastis.

I_e = Faktor keutamaan (1,5).

$$\begin{aligned}
 a &= 0,010h_{sx} \text{ (Arah X)} \\
 a &= 0,020h_{sx} \text{ (Arah Y)} \\
 &= \text{Faktor redundansi (1,3)}.
 \end{aligned}$$

❖ Analisa Simpangan Antar Lantai Gempa Arah x

Tabel 6.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah X.

Tingkat	Has	Jumlah Perpindahan Total (Δ_{total})	Deviasi Antar lantai		Perpindahan yang Terjadi	Δ_{lis}	kontrol
	m		mm	mm			
Lantai 1	3,50	2,670	2,670	9,790	35	OKE	
Lantai 2	7,00	9,460	6,790	24,897	70	OKE	
Lantai 3	5,00	18,915	7,455	27,335	50	OKE	
Lantai 4	4,50	23,053	9,138	33,506	45	OKE	
Lantai 5	4,50	35,911	10,858	39,814	45	OKE	
Lantai 6	4,50	48,936	12,084	44,510	45	OKE	
Lantai 7	4,50	60,936	11,940	43,779	45	OKE	
Lantai 8	4,50	72,420	11,484	42,108	45	OKE	
Lantai 9	4,50	84,181	11,761	41,125	45	OKE	
Lantai 10	4,50	95,008	11,827	43,366	45	OKE	
Lantai 11	4,50	107,735	11,727	42,998	45	OKE	
Lantai 12	4,50	119,248	11,513	42,215	45	OKE	
Lantai 13	4,50	127,579	8,281	39,385	45	OKE	
Lantai 14	4,80	139,378	11,819	43,417	48	OKE	

❖ Analisa Simpangan Antar Lantai Gempa Arah Y

Tabel 6.7 Kontrol Simpangan Antar Lantai Portal Gempa Dinamis Arah Y.

Tingkat	Has	Jumlah Perpindahan Total (Δ_{total})	Deviasi Antar lantai		Perpindahan yang Terjadi	Δ_{lis}	kontrol
	m		mm	mm			
Lantai 1	3,50	4,141	4,141	15,183	35	OKE	
Lantai 2	7,00	19,449	15,308	56,131	70	OKE	
Lantai 3	5,00	32,494	17,045	47,811	50	OKE	
Lantai 4	4,50	42,070	9,575	35,110	45	OKE	
Lantai 5	4,50	52,719	10,649	39,047	45	OKE	
Lantai 6	4,50	63,304	10,583	38,813	45	OKE	
Lantai 7	4,50	72,858	9,534	34,955	45	OKE	
Lantai 8	4,50	81,771	11,957	43,768	45	OKE	
Lantai 9	4,50	92,704	7,930	29,077	45	OKE	
Lantai 10	4,50	103,379	10,675	39,143	45	OKE	
Lantai 11	4,50	114,662	11,283	41,169	45	OKE	
Lantai 12	4,50	125,571	10,909	39,998	45	OKE	
Lantai 13	4,50	136,183	10,613	38,913	45	OKE	
Lantai 14	4,80	148,069	11,886	43,581	48	OKE	

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB VII

DESAIN STRUKTUR BANGUNAN

7.1 Desain Struktur Pelat Lantai

Struktur pelat lantai yang dihitung pada subbab ini merupakan pelat yang dikelilingi oleh balok. Pelat ini digunakan pada lantai dasar hingga lantai atap.

Analisis struktur pelat lantai bertujuan untuk mengetahui momen lentur yang bekerja pada pelat lantai. Pada pelat satu arah momen dihitung sesuai ketentuan SNI 2847-2013 pasal 8.3.3. Sementara untuk pelat dua arah perhitungan pada analisa struktur bangunan ini menggunakan program bantu SAP 2000.

Perhitungan struktur pelat lantai bertujuan untuk mencari diameter dan jarak tulangan utama dan tulangan susut. Tulangan utama dihitung berdasarkan momen lentur yang bekerja pada pelat. Untuk tulangan susut dihitung berdasarkan batasan penulangan susut pada SNI-2847-2013 pasal 7.12.2.1. Hasil perhitungan lengkapnya direkapitulasi pada Lampiran C.

7.1.1 Perhitungan Nilai β_1

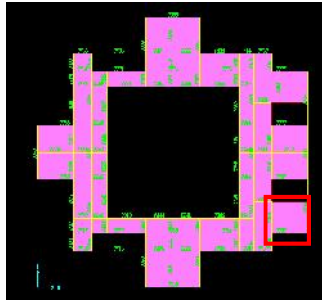
Untuk f'_c 30 Mpa nilai β_1 dapat diperoleh sesuai SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3 sebagai berikut :

$$s_1 = 0,85 - \left(\frac{28 - 30}{28 - 35} \right) (0,85 - 0,8) = 0,836 \approx 0,84$$

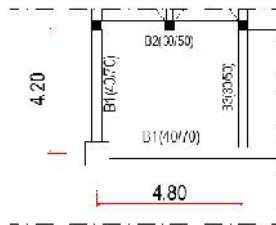
Tulangan Ø10 dengan $f_y = 240$ Mpa.

7.1.2 Menentukan Tipe Pelat Lantai

Sebagai contoh perhitungan ditinjau sebuah panel pelat dengan dimensi ukuran terbesar pada grid E-F:2-3 lantai 13 tipe S10 seperti Gambar 7.1 dan 7.2.



Gambar 7.1 Panel Yang Ditinjau



Catatan: Satuan dalam m

Gambar 7.2 Ukuran Detail Panel Pelat

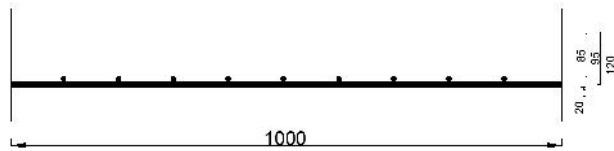
$$L = 4800 - \left(\frac{4}{2} + \frac{3}{2} \right) = 4765 \text{ m}$$

$$L_x = 4200 - \left(\frac{4}{2} + \frac{3}{2} \right) = 4165 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L}{L_x} = \frac{4}{4} = 1,144 < 2 \text{ (Pelat dua arah)}$$

7.1.3 Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai

h dipakai	= 120 mm
Ø tul.1 = Ø tul.2	= 10 mm
p (tebal selimut)	= 20 mm (pasal 7.7.1)
dx (efektif arah x)	= h - p - (0,5 . Ø1)
	= 95 mm
dy (efektif arah y)	= h - p - Ø1 - (0,5 . Ø2)
	= 85 mm



Gambar 7.3 Tinggi Efektif Pelat Lantai

7.1.4 Perhitungan Gaya Dalam Pelat Lantai

Momen pelat lantai diambil dari program bantu SAP 2000. Hasil analisis dengan menggunakan software elemen hingga ini biasanya berupa nilai-nilai m_{1-1} dan m_{2-2} adalah momen per satuan lebar. Berikut hasil analisa momen pelat lantai pada SAP 2000 :

m_{1-1} : 300,000 kgm/m.

m_{2-2} : 249,700 kgm/m.

❖ Momen arah x

Mux = 300,000 kg.m/m

❖ Momen arah y

Muy = 249,700 kgm/m

7.1.5 Perhitungan Tulangan

❖ Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times 1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\
 &= 0,0645 \\
 \text{maks} &= 0,75 \cdot \text{balance} \\
 &= 0,75 \cdot 0,0645 \\
 &= 0,0484 \\
 \text{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,00583
 \end{aligned}$$

❖ Penulangan Arah X

$$M_n = \frac{M_{ux}}{w} \times 10000$$

$$= \frac{300}{0,8} \times 10000$$

$$= 3750000 \text{ N.mm/m}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$= \frac{240}{0,85 \cdot 30}$$

$$= 9,41176$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d x^2}$$

$$= \frac{3750000}{1000 \cdot 95^2}$$

$$= 0,4155 \text{ Mpa}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{9,41176} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,41176 \cdot 0,4155}{240}} \right)$$

$$= 0,001746$$

$$\text{perlu } (0,001746) < \text{min } (0,00583), \text{ dipakai min}$$

$$\text{As perlu} = \text{min} \cdot b \cdot dx$$

$$= 0,00583 \cdot 1000 \cdot 95$$

$$\text{As perlu} = 554,167 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = \text{Ø}10 - 125 \text{ (As} = 628 \text{ mm}^2 \text{)}$$

❖ Kontrol Tebal Pelat terhadap Geser Arah X

Nilai V_u diambil dari SAP 2000 sebesar :

$$V_u = 119,98 \text{ kg/m}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1. sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 88457,193 \text{ N} \\ &= 8845,719 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ket : = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$\begin{aligned} \emptyset V_c &= 0,80 \times 8845,719 \text{ kg} \\ &= 7076,575 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena $\emptyset V_c = 7076,575 \text{ kg} > V_u = 119,980 \text{ kg}$ maka tebal pelat memenuhi persyaratan geser.

❖ Penulangan Arah Y

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{uy}}{w} \times 10000 \\ &= \frac{249,700}{0,8} \times 10000 \\ &= 3121250 \text{ N.mm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\ &= \frac{240}{0,85 \cdot 30} \\ &= 9,41176 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{3121250}{1000 \cdot 85^2} \\ &= 0,4320 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{perlu} &= \frac{1}{9,41176} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,9,41176 \cdot 0,4320}{240}} \right) \\ &= 0,001816 \end{aligned}$$

perlu (0,001816) < min (0,00583), dipakai min

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{min} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,00583 \cdot 1000 \cdot 85 \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = 495,883 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = \text{Ø}10 - 125 \text{ (As = 628 mm}^2 \text{)}$$

❖ Kontrol Tebal Pelat terhadap Geser Arah Y

Nilai V_u diambil dari SAP 2000 sebesar :

$$V_u = 100,72 \text{ kg/m}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1. sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 79145,91 \text{ N} \\ &= 7914,591 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ket : = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$\begin{aligned} \text{Ø } V_c &= 0,8 \times 7914,591 \text{ kg} \\ &= 6331,673 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena $\text{Ø } V_c = 6331,673 \text{ kg} > V_u = 100,720 \text{ kg}$ maka tebal pelat memenuhi persyaratan geser.

❖ Penulangan Susut atau Pembagi

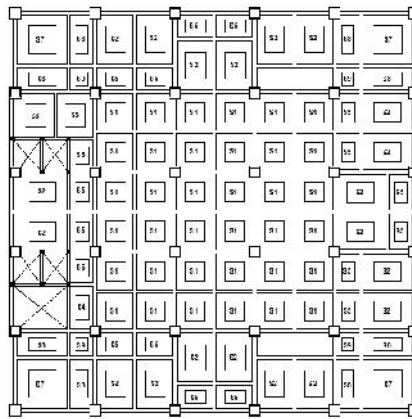
Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 rasio untuk tulangan susut diambil sebesar 0,002 dengan perhitungan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{As}' &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \end{aligned}$$

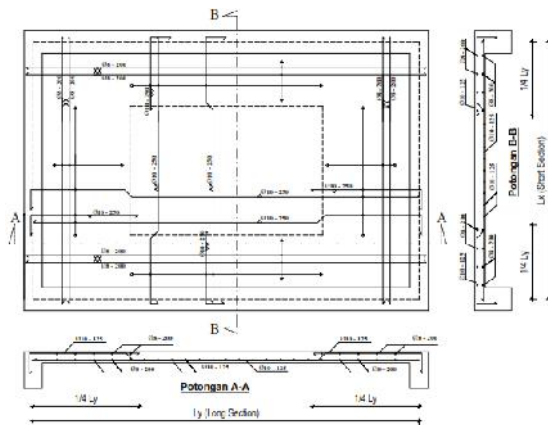
$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_s' \text{ dipakai} = \emptyset 8 - 200 \text{ (} A_s = 251,3 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Pada perhitungan pelat lantai ditinjau pada pelat lantai 4 yang nantinya perhitungan ini akan digunakan pada setiap lantai untuk tipe pelat lantai yang sama direkapitulasi dan disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran C.



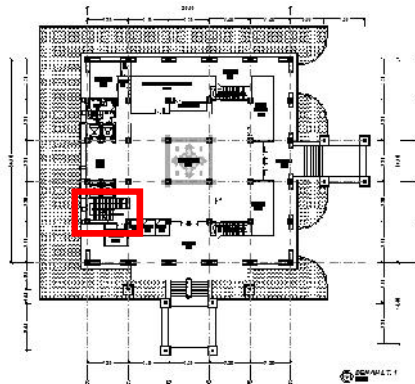
Gambar 7.4 Denah Rencana Pelat Lantai



Gambar 7.5 Detail Pelat Lantai S10

7.2 Desain Struktur Tangga

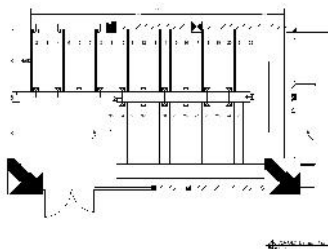
Struktur tangga yang didesain meliputi pelat tangga serta pelat bordes. Sebagai contoh perhitungan ditinjau tangga yang menghubungkan lantai 1 dengan lantai 2, denah penempatan tangga, dapat dilihat pada gambar 7.6 berikut ini:



Gambar 7.6 Denah Penempatan Tangga Pada Lantai 1
(ditandai dengan garis merah)

Spesifikasi teknik pelat tangga dan pelat bordes yang didesain adalah :

Beton f'_c	= 30 MPa
Tulangan utama	= Ø12
f_y	= 240 MPa
Tebal pelat tangga dan pelat bordes	= 120 mm



Gambar 7.7 Denah Tangga Pada Lantai 2

7.2.1 Perhitungan Gaya Dalam Pelat Tangga

Pelat tangga dan bordes dimodelkan perletakan sendi dan sendi. Dari Analisa struktur pada program bantu SAP 2000, maka didapat nilai gaya-gaya dalam seperti dibawah :

Momen maksimum tumpuan	: 1144,81	kgm/m
Geser maksimum tumpuan	: 1192,85	kg/m
Momen maksimum lapangan	: 728,76	kgm/m
Geser maksimum lapangan	: 453,68	kg/m

7.2.2 Menentukan Tinggi Efektif Pelat Lantai

h dipakai	= 120 mm
Ø tulangan	= 12 mm
p (tebal selimut)	= 20 mm (pasal 7.7.1)
dx (efektif arah x)	= h - p - (0,5 . Ø1)
	= 94 mm

7.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga Dan Bordes

Untuk memudahkan pemasangan, tulangan pelat bordes dan pelat tangga dibuat sama. Momen desain yang digunakan adalah momen terbesar pada pelat tangga hasil analisis struktur.

❖ Rasio Tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{balance} &= \frac{0,85 \times f_c' \times 1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{240} \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \\
 &= 0,0645 \\
 \text{maks} &= 0,75 \cdot \text{balance} \\
 &= 0,75 \cdot 0,0645 \\
 &= 0,0484 \\
 \text{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,00583
 \end{aligned}$$

❖ Penulangan Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu - tump}{w} \times 10000 \\
 &= \frac{1144,810}{0,8} \times 10000 \\
 &= 14310125 \text{ N.mm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{240}{0,85 \cdot 30} \\
 &= 9,41176
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d \cdot x^2} \\
 &= \frac{14310125}{1000 \cdot 94^2} \\
 &= 1,619 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \text{perlu} &= \frac{1}{9,41176} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,41176 \cdot 1,619}{240}} \right) \\
 &= 0,006977
 \end{aligned}$$

$$\text{perlu } (0,006977) > \text{min } (0,00583), \text{ dipakai min}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \text{min} \cdot b \cdot d_y \\
 &= 0,006977 \cdot 1000 \cdot 94
 \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = 655,848 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = \text{Ø}12 - 150 \text{ (As} = 754 \text{ mm}^2 \text{)}$$

❖ Kontrol Tebal Pelat terhadap Geser Ditumpuan

Nilai V_u diambil dari SAP 2000 sebesar :

$$V_u = 1192,85 \text{ kg/m}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1. sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 94 \\ &= 87526,060 \text{ N} \\ &= 8752,606 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ket : = 1 (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,8 \times 8752,606 \text{ kg} \\ &= 7002,085 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena $\phi V_c = 7002,085 \text{ kg} > V_u = 1192,850 \text{ kg}$ maka tebal pelat memenuhi persyaratan geser.

❖ Penulangan Lapangan

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mu - lap}{w} \times 10000 \\ &= \frac{728,76}{0,8} \times 10000 \\ &= 9109500 \text{ N.mm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\ &= \frac{240}{0,85 \cdot 30} \\ &= 9,41176 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d x^2} \\ &= \frac{9109500}{1000 \cdot 94^2} \\ &= 1,031 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{9,41176} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,9,41176 \cdot 1,031}{240}} \right)$$

$$= 0,004386$$

$$\text{perlu } (0,004386) < \text{min } (0,00583), \text{ dipakai min}$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \text{min} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,00583 \cdot 1000 \cdot 94 \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} = 548,333 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai} = \text{Ø}12 - 150 \text{ (As} = 754 \text{ mm}^2 \text{)}$$

❖ Kontrol Tebal Pelat terhadap Geser Arah Y

Nilai V_u diambil dari SAP 2000 sebesar :

$$V_u = 453,68 \text{ kg/m}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.1. sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 92 \\ &= 87526,606 \text{ N} \\ &= 8752,660 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Ket : } = 1 \text{ (beton normal) SNI 2847-2013 pasal 8.6.1}$$

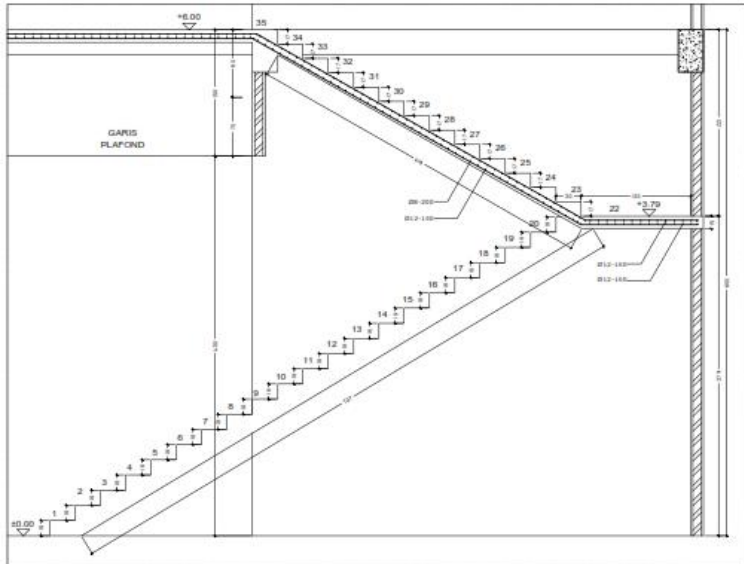
$$\begin{aligned} \text{Ø } V_c &= 0,8 \times 8752,660 \text{ kg} \\ &= 7002,085 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena $\text{Ø}V_c = 7002,085 \text{ kg} > V_u = 453,680 \text{ kg}$ maka tebal pelat memenuhi persyaratan geser.

❖ Penulangan Susut atau Pembagi

Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 rasio untuk tulangan susut diambil sebesar 0,002 dengan perhitungan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 As' &= 0,002 \cdot b \cdot h \\
 &= 0,002 \cdot 100 \cdot 12 \\
 &= 2,4 \text{ cm}^2 \\
 &= 240 \text{ mm}^2 \\
 As' \text{ dipakai} &= \text{Ø8} - 200 \text{ (} As = 251,3 \text{ cm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$



Gambar 7.8 Detail Tangga Pada Lantai 1

7.3 Analisa Struktur Balok

Balok merupakan salah satu komponen rangka pada Sistem Rangka Pemikul Momen bertugas menerima beban gravitasi, beban mati, beban hidup, serta menerima beban akibat gaya gempa yang terjadi.

Untuk penulangan balok didesain tipikal untuk lantai 1 – 14. Hal ini dilakukan karena kemiripan hasil output gaya dalam. Tujuan desain seperti ini dapat mempermudah dan juga mempercepat pelaksanaan. Perancangan penulangan balok mengacu pada SNI 2847:2013.

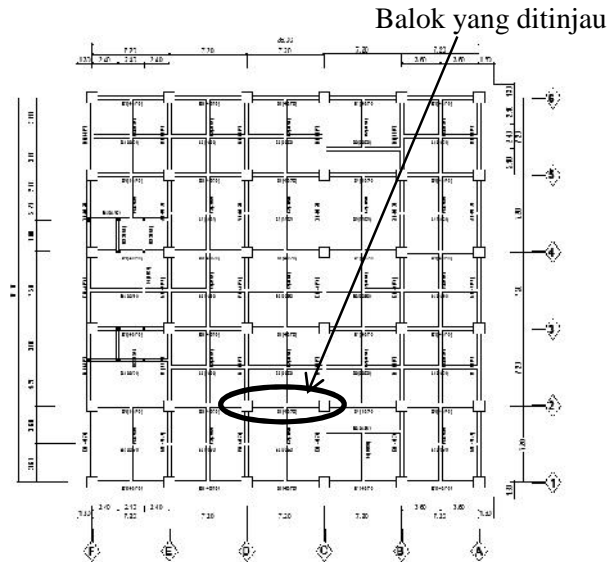
Perencanaan penulangan balok induk dapat dilakukan setelah mendapat gaya-gaya dalam yang terjadi pada analisa struktur utama dari hasil analisa program bantu SAP 2000.

Dikarenakan keterbatasan waktu pada contoh perhitungan struktur atas ini dilakukan untuk jenis balok induk (B1) ukuran 40/70 pada portal sumbu X dengan koordinat (CD-2) untuk lantai 3. Selanjutnya, perhitungan penulangan balok yang lain pada koordinat (CD-2) lantai 1-14 akan disajikan dalam bentuk tabel pada lampiran D.

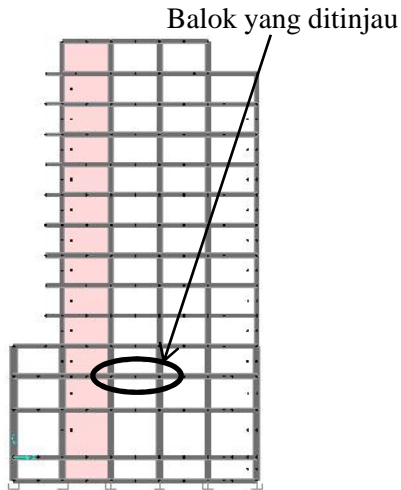
❖ Data-data penulangan balok :

➤ Tipe balok	: B1 40/70
➤ Bentang balok	L_{balok} : 7200 mm
➤ Dimensi balok	b_{balok} : 400 mm
➤ Dimensi balok	h_{balok} : 700 mm
➤ Bentang kolom	L_{kolom} : 7200 mm
➤ Dimensi kolom	b_{kolom} : 1000 mm
➤ Dimensi kolom	h_{kolom} : 1000 mm
➤ Kuat tekan beton	f_c' : 30 Mpa
➤ Kuat leleh tulangan lentur	f_y : 400 Mpa
➤ Kuat leleh tulangan geser	f_{yv} : 400 Mpa
➤ Kuat leleh tulangan puntir	f_{yt} : 400 Mpa
➤ Diameter tulangan lentur	D_{lentur} : 22 mm
➤ Diameter tulangan geser	\emptyset_{geser} : 13 mm
➤ Diameter tulangan puntir	$\emptyset_{\text{puntir}}$: 19 mm
➤ Jarak spasi tulangan sejajar (SNI 2847-2013 psl. 7.6.2)	S_{sejajar} : 25 mm
➤ Jarak spasi tulangan antar lapis (SNI 2847-2013 psl. 7.6.1)	$S_{\text{antarlapis}}$: 25 mm
➤ Tebal selimut beton (SNI 2847-2013 psl. 7.7.1)	p : 40 mm
➤ Faktor β_1 (SNI 2847-2013 psl. 10.2.7.3)	β_1 : 0,84
➤ Faktor reduksi kekuatan lentur (SNI 2847-2013 psl. 9.3.2.1)	\emptyset : 0,9

- Faktor reduksi kekuatan geser ϕ : 0,75
(SNI 2847-2013 psl. 9.3.2.3)
- Faktor reduksi kekuatan puntir ϕ : 0,75
(SNI 2847-2013 psl. 9.3.2.3)



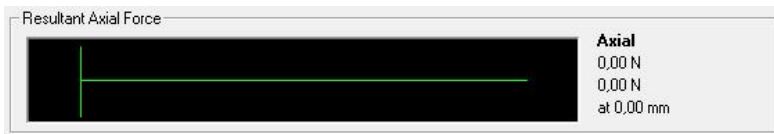
Gambar 7.9 Denah Balok memanjang 40/70 pada Lt.3



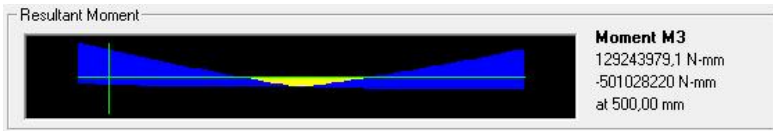
Gambar 7.10 Potongan Untuk Lokasi Balok memanjang 40/70 pada Lantai 3

7.3.1 Perhitungan Gaya-Gaya Dalam Pada Balok

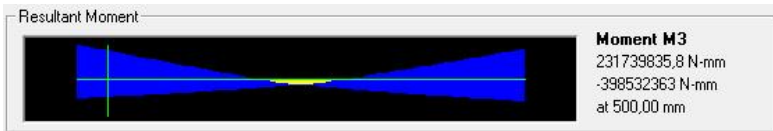
Perhitungan penulangan balok ini menggunakan analisa program SAP 2000. Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 pada balok CD-2 lantai 3 adalah gaya yang ditinjau yang paling maksimum yang terjadi dari akibat beberapa macam kombinasi pembebanan gravitasi maupun gempa. Berikut tampilan diagram dan nilai gaya dalam dari analisa program SAP 2000 :



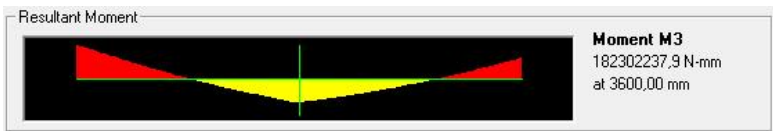
Gambar 7.11 Tekan maksimum



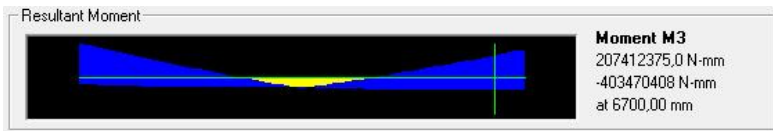
Gambar 7.12 Momen Kiri Tumpuan (-) Dari Muka Kolom



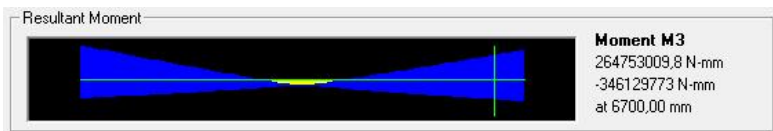
Gambar 7.13 Momen Kiri Tumpuan (+) Dari Muka Kolom



Gambar 7.14 Momen Lapangan Di Tengah Bentang



Gambar 7.15 Momen Kanan Tumpuan (-) Dari Muka Kolom



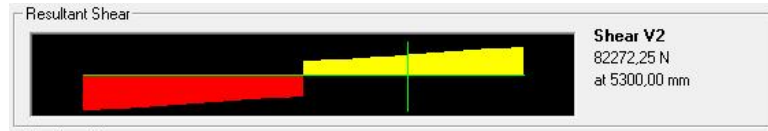
Gambar 7.16 Momen Kanan Tumpuan (+) Dari Muka Kolom



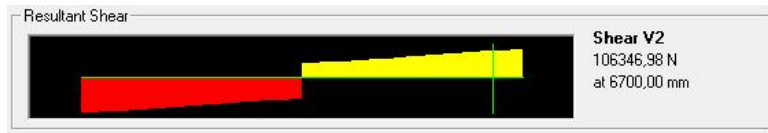
Gambar 7.17 Geser Kiri Tumpuan Dari Muka Kolom



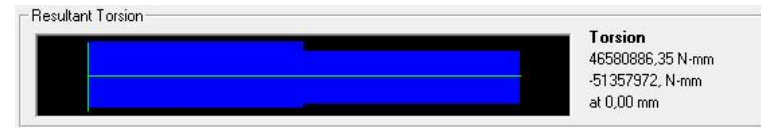
Gambar 7.18 Geser Lapangan Kiri Dari 2h Dari Muka Kolom



Gambar 7.19 Geser Lapangan Kanan 2h Dari Muka Kolom



Gambar 7.20 Geser Kanan Tumpuan Dari Muka Kolom



Gambar 7.21 Torsi Terbesar Yang Ditinjau

Dari hasil analisa diatas dapat direkapitulasi gaya-gaya dalam pada balok pada tabel 7.1 dibawah ini :

Tabel 7.1 Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Pada Balok

Gaya	Nilai	Satuan	Akibat Beban Kombinasi
Aksial (Pu)	0	N	-
Mu Tump.Kiri (-)	-511.000.000	N.mm	(1,32DL+1,3Ex+1,0LL)
Mu Tump.Kiri (+)	237.000.000	N.mm	(1,32DL+1,3Ex+1,6H)
Mu Lapangan	190.000.000	N.mm	(1,2DL+1,6LL+0,5R)
Mu Tump.Kanan (-)	-412.000.000	N.mm	(1,32DL+1,3Ex+1,0LL)
Mu Tump.Kanan (+)	270.000.000	N.mm	(1,32DL+1,3Ex+1,6H)
Vu Tumpuan Kiri	137.000	N	(1,2DL+1,0LL)

Vu Lapangan Kiri	112.000	N	(1,2DL+1,0LL)
Vu Lapangan Kanan	84.000	N	(1,2DL+1,0LL)
Vu Tumpuan Kanan	116.000	N	(1,2DL+1,0LL)
Torsi (Tu)	53.000.000	N.mm	(1,32DL+1,3Ey+1,6H)

7.3.2 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

- ❖ Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2)

$$L_n = 6200 \text{ mm}$$

$$d = 700 - 40 - 19 - (22/2) = 630 \text{ mm}$$

$$4d = 4 (630) = 2520 \text{ mm}$$

$$L_n > 4d \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

- ❖ Lebar komponen tidak boleh kurang dari 0,3 h dan 250 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.5.3)

$$b/h = 40/70$$

$$= 0,571 \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

7.3.3 Perhitungan Tinggi Efektif Balok

Tinggi efektif balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}} \\ &= 700 - 40 - 19 - 22/2 \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}} \\ &= 40 + 19 + 22/2 \\ &= 70 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.3.4 Perhitungan Rasio Tulangan

Perhitungan batas rasio tulangan dihitung sebagai berikut :

- ❖ pada kondisi seimbang (balance)

Ditentukan sesuai SNI 2847:2013 pasal 10.3.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{balance} &= \frac{0,85 \times f_c \times 1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,84}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0320 \end{aligned}$$

❖ maksimum (maks)

Ditentukan sesuai SNI 2847:2013 pasal 10.3.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{maks} &= 0,75 \cdot \text{balance} \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,0240 \end{aligned}$$

Namun maks tidak boleh melebihi 0,025 sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1.

❖ minimum (min)

Ditentukan sesuai SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

7.3.5 Perhitungan Tulangan Torsi Balok

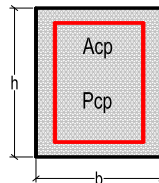
Momen puntir *ultimate* :

$$T_u = 53.000.000 \text{ N-mm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi dan beban gempa

Momen puntir nominal :

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{53.000.000}{0,75} \\ &= 70.666.667 \text{ N.mm} \end{aligned}$$



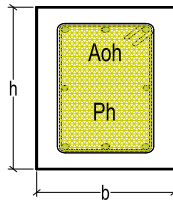
Gambar 7.22 Luasan Acp dan Keliling Pcp

Luasan penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 700 \\ &= 280.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi sisi luar :

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 700) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 7.23 Luasan Aoh dan Keliling Ph

Luasan penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{selimut \text{ beton}} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{selimut \text{ beton}} - \emptyset_{geser}) \\ &= (400 - 2 \cdot 40 - 19) \times (700 - 2 \cdot 40 - 19) \\ &= 180.901 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2 \cdot t_{selimut \text{ beton}} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{selimut \text{ beton}} - \emptyset_{geser})) \\ &= (2 \times (400 - 2 \cdot 40 - 19) + (700 - 2 \cdot 40 - 19)) \\ &= 1804 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh tulangan puntir dapat diketahui sesuai SNI 2847-2013 pasal. 11.5.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{u_{min}} &= (w \cdot 0,083 \cdot \sqrt{f'c}) \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= (0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}) \left(\frac{280000^2}{2200} \right) \\ &= 12.150.478 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

- ✓ Syarat :
 - $Tu_{min} \geq Tu \rightarrow$ tulangan puntir diabaikan
 - $Tu_{min} < Tu \rightarrow$ tulangan puntir ditinjau
- ✓ Karena $Tu_{min}=12.150.478 \text{ N.mm} < Tu=53.000.000 \text{ N.mm}$
Maka membutuhkan tulangan puntir/torsi.

Cek Dimensi Penampang :

$V_u \text{ maks} = 137.000 \text{ N}$

Nilai V_c didapat dari perhitungan dibawah ini sesuai dengan SNI beton pasal 11.2.1.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \times 400 \times 630 \\
 &= 234.644 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Penampang harus dicek dimensi sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.3.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq w \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66\sqrt{f'_c}\right) \\
 &\sqrt{\left(\frac{137000}{400 \times 630}\right)^2 + \left(\frac{53000000 \times 1804}{1,7 \times 180901^2}\right)^2} = 1,803 \\
 &w \left(\frac{234.644}{400 \times 630} + 0,66\sqrt{30}\right) = 4,091
 \end{aligned}$$

Persamaan kiri = 1,803 Persamaan kanan = 4,091

- ✓ Syarat: $\text{Pers.kiri} > \text{Pers.kanan} \rightarrow$ perbesar penampang
- $\text{Pers.kiri} \leq \text{Pers.kanan} \rightarrow$ penampang OK

✓ Maka dimensi penampang OK

Tulangan puntir untuk geser dapat dihitung sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \times \cot \\
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 180.901 \\
 &= 153.766 \text{ mm} \\
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_{yt} \times \cot} \\
 &= \frac{70.666.667}{2 \times 153.766 \times 400 \times \cot 45} \\
 &= \frac{70.666.667}{2 \times 153.766 \times 400 \times (1/\tan 45)} \\
 &= 0,574 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan puntir untuk lentur dapat dihitung sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.7 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \times \cot^2 \\
 &= 0,574 \times 1816 \times \left(\frac{400}{400} \right) \times \cot^2 45 \\
 &= 1036,340 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan memanjang minimal yang diperlukan untuk torsi diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.5.5.3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{l \min} &= \frac{0,42 \sqrt{f_c} \times A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \\
 &= \frac{0,42 \sqrt{30} \times 280000}{400} - \left(0,574 \times 1816 \times \frac{400}{400} \right) \\
 &= 1610,304 - 1036,34 \\
 &= 573,970 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir untuk lentur didistribusikan merata ke 4 sisi balok :

$$\begin{aligned}\frac{A_1}{3} &= \frac{1036,340}{3} \\ &= 345,450 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka luasan tambahan puntir longitudinal untuk tulangan lentur ialah 345,450 mm².

Luasan tambahan puntir transversal untuk tulangan geser sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.5.5.2 ialah :

$$\begin{aligned}2 \frac{A_t}{s} &= 2 \times 0,574 \\ &= 1,149 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Luasan tulangan puntir

$$\begin{aligned}\emptyset - 19 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,530 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (web)

$$\begin{aligned}&= \frac{A_{\text{perlu puntir}}}{\text{luasan } \emptyset_{\text{puntir}}} \\ &= \frac{345,45}{283,53} \\ &= 1,278 \approx 2 \text{ buah} \rightarrow 2\text{-D19}\end{aligned}$$

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (web)

$$\begin{aligned}A_{\text{pasang puntir}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } \emptyset_{\text{puntir}} \\ &= 2 \times 283,53 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

7.3.6 Perhitungan Tulangan Longitudinal Penahan Lentur

❖ Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen negatif yang terbesar:

$$Mu_{\text{tumpuan}} = 511.000.000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu_{\text{tumpuan}}}{W}$$

$$= \frac{511000000}{0,9}$$

$$= 567.777.778 \text{ N.mm}$$

$$Xb = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d$$

$$= \frac{600}{(600 + 400)} \times 630$$

$$= 378 \text{ mm}$$

$$X_{\text{max}} < 0,75 \times Xb$$

$$< 0,75 \times 378$$

$$= 283,5 \text{ mm}$$

$$X_{\text{min}} = d'$$

$$= 70 \text{ mm}$$

$$X_{\text{rencana}} = 0,8 \times X_{\text{max}}$$

$$= 0,8 \times 283,5$$

$$= 226,80 \text{ mm}$$

$$Cc = 0,85 \times f_c' \times b \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,84 \times 226,880$$

$$= 1.943.222 \text{ N}$$

$$Asc = \frac{Cc}{f_y}$$

$$= \frac{1943222}{400}$$

$$= 4858 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{S_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\
 &= 4858 \times 400 \times \left(630 - \frac{0,84 \times 226,8}{2} \right) \\
 &= 1.039.126.519 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 567.777.778 - 1.039.126.519 \\
 &= -471.348.741 \text{ Nmm} < 0
 \end{aligned}$$

Dari analisa perhitungan tersebut tidak diperlukan tulangan rangkap.

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Negatif

Dari perhitungan diatas balok memerlukan tulangan tunggal yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \checkmark R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{567777778}{400 \times 630^2} \\
 &= 3,576 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= 0,009675
 \end{aligned}$$

Karena min=0,0035 perlu=0,00968 max = 0,024
maka digunakan perlu.

$$\begin{aligned}
 \checkmark A_s \text{ perlu} &= \text{perlu} \times b \times d \\
 &= 0,009675 \times 400 \times 630 \\
 &= 2438,094 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- ✓ As pakai (D-22)

$$\begin{aligned} D - 22 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \\ &= 379,940 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- ✓ Sisi atas balok (tulangan tarik)

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= A_s + \frac{A_1}{3} \\ &= 2438,094 + 345,45 \\ &= 2783,54 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- ✓ Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{\text{luasan } D_{\text{lentur}}} \\ &= \frac{2784,81}{379,940} \\ &= 7,330 \approx 8 \text{ buah} \rightarrow 8\text{-D22} \end{aligned}$$

- ✓ Luasan tulangan lentur sisi atas (tarik)

$$\begin{aligned} \text{As tul pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 8 \times 379,940 \\ &= 3039,520 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (8 \times 22)}{8 - 1} \\ &= 16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$$

Karena $S_{\text{perlu}} = 16 \text{ mm}$ $S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 2 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

- ✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f' \cdot c \cdot b} \\
 &= \frac{3039,5 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\
 &= 119,197 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- ✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul lentur}} - \\
 &\quad \{(n \text{ lapis} - 1) \times (\emptyset_{\text{tul.lentur}} + s \text{ antar lapis})\} \\
 &= 700 - 40 - 19 - 22/2 - \{(2-1) \times (22+25)\} \\
 &= 583 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset M_n &= \emptyset A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 3039,52 \cdot 400 \times \left(583 - \frac{119,197}{2} \right) \\
 &= 572.720.233 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset M_n \geq M_u \text{ (-)} \quad \rightarrow \text{perencanaan OK}$$

Penulangan Lentur memenuhi

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Positif

- ✓ Tulangan Lentur Momen Positif (Sisi Bawah Balok) asumsi awal :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \frac{M_{u_{kiri(+)}}}{\{_{\text{lentur}} \times f_y \times j \times d} + A_{s_{\text{torsitiap-sisi}}} \\
 &= \frac{237.000.000}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 630} + 345,45 \\
 &= 1574,827 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- ✓ Jumlah tulangan pasang lentur sisi bawah (tekan) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{As'_{\text{perlu}}}{\text{luasan } D_{\text{lentur}}} \\ &= \frac{1574,827}{379,940} \\ &= 4,145 \approx 5 \text{ buah} \rightarrow 5\text{-D22} \end{aligned}$$

- ✓ Luasan tulangan lentur sisi bawah (tekan)

$$\begin{aligned} \text{As tul pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 5 \times 379,940 \\ &= 1899,700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \varnothing_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 19) - (5 \times 22)}{5 - 1} \\ &= 43 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ijin}} = 25,000 \text{ mm}$$

Karena $S_{\text{perlu}} = 43 \text{ mm}$ $S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 1 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

- ✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c} \cdot b} \\ &= \frac{1899,700 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\ &= 74,498 \text{ mm} \end{aligned}$$

- ✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}} \\ &= 700 - 40 - 19 - 22/2 \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_s f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 1899,7 \times 400 \times \left(630 - \frac{74,498}{2} \right) \\
 &= 405.377.653 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n \geq M_u(+) \quad \rightarrow \text{perencanaan OK}$$

Penulangan Lentur memenuhi

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok
 SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$M_n(-) = \frac{1}{2} \phi M_n < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = \frac{1}{2} 572.720.233 < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = 286.360.117 \text{ Nmm} < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

❖ Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen negatif yang terbesar

$$M_u_{\text{tumpuan}} = 412.000.000 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u_{\text{tumpuan}}}{W} \\
 &= \frac{412000000}{0,9} \\
 &= 457.777.778 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} \times d \\
 &= \frac{600}{(600 + 400)} \times 630
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 378 \text{ mm} \\
 X_{\text{max}} &< 0,75 \times X_b
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &< 0,75 \times 378 \\
 &= 283,5 \text{ mm} \\
 X_{\min} &= d' \\
 &= 70 \text{ mm} \\
 X_{\text{rencana}} &= 0,8 \times X_{\max} \\
 &= 0,8 \times 283,5 \\
 &= 226,80 \text{ mm} \\
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times b \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,84 \times 226,880 \\
 &= 1.943.222 \text{ N} \\
 A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\
 &= \frac{1943222}{400} \\
 &= 4858 \text{ mm}^2 \\
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{S_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
 &= 4858 \times 400 \times \left(630 - \frac{0,84 \times 226,8}{2} \right) \\
 &= 1.039.126.519 \text{ Nmm} \\
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 457.777.778 - 1.035.055.546 \\
 &= -581.348.741 \text{ Nmm} < 0
 \end{aligned}$$

Dari analisa perhitungan tersebut tidak diperlukan tulangan rangkap.

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Negatif
 Dari perhitungan diatas balok memerlukan tulangan tunggal yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \checkmark R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{457777778}{400 \times 630^2} \\
 &= 2,883 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad \text{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{f_y}} \right) \\
 &= 0,00759
 \end{aligned}$$

Karena $\text{min}=0,0035$ $\text{perlu}=0,00767$ $\text{max} = 0,024$
 maka digunakan perlu .

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad \text{As perlu} &= \text{perlu} \times b \times d \\
 &= 0,00767 \times 400 \times 630 \\
 &= 1932,854 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad \text{As pakai (D-22)} \\
 D - 22 &= \frac{1}{4} \cdot \cdot d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \cdot 22^2 \\
 &= 379,940 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

✓ Sisi atas balok (tulangan tarik)

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \text{As} + \frac{A_1}{4} \\
 &= 1932,854 + 345,45 \\
 &= 2278,300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

✓ Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{luasan } D_{\text{lentur}}} \\
 &= \frac{2278,30}{379,940} \\
 &= 5,996 \approx 6 \text{ buah} \rightarrow 6\text{-D22}
 \end{aligned}$$

✓ Luasan tulangan lentur sisi atas (tarik)

$$\begin{aligned}
 \text{As tul pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 6 \times 379,940 \\
 &= 2279,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \varnothing_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 19) - (6 \times 22)}{6 - 1} \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$$

Karena $S_{\text{perlu}} = 30 \text{ mm}$ $S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 1 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{2278,30.400}{0,85.30.400} \\
 &= 89,398 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}} \\
 &= 700 - 40 - 19 - \frac{22}{2} \\
 &= 630 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing M_n &= \varnothing A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 2278,30.400 \times \left(630 - \frac{89,398}{2} \right) \\
 &= 480.339.351 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\varnothing M_n \geq M_u (-) \quad \rightarrow \text{perencanaan OK}$$

Penulangan Lentur memenuhi

➤ Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Positif

✓ Tulangan Lentur Momen Positif (Sisi Bawah Balok)

asumsi awal :

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \frac{Mu_{kanan(+)}}{\zeta_{lentur} \times f_y \times j \times d} + As_{torsitiap-sisi} \\
 &= \frac{270.000.000}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 630} + 345,45 \\
 &= 1746,006 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

✓ Jumlah tulangan pasang lentur sisi bawah (tekan) :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As'_{perlu}}{\text{luasan } D_{lentur}} \\
 &= \frac{1746,006}{379,940} \\
 &= 4,595 \approx 5 \text{ buah} \rightarrow 5-D22
 \end{aligned}$$

✓ Luasan tulangan lentur sisi bawah (tekan)

$$\begin{aligned}
 \text{As tul pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 5 \times 379,940 \\
 &= 1899,700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{b - (2 \times t_{decking}) - (2 \times \varnothing_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 19) - (5 \times 22)}{5 - 1} \\
 &= 43 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{ijin} = 25,000 \text{ mm}$$

Karena $S_{perlu} = 43 \text{ mm}$ $S_{ijin} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 1 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f' \cdot c \cdot b} \\
 &= \frac{1899,7 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\
 &= 74,498 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- ✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul lentur}} \\ &= 700 - 40 - 19 - 22/2 \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_n &= \emptyset A_s f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 1899,7.400 \times \left(630 - \frac{74,498}{2} \right) \\ &= 405.377.653,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\emptyset M_n \geq M_u(+) \quad \rightarrow \text{perencanaan OK}$$

Penulangan Lentur memenuhi

- Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok
SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$M_n(-) = \frac{1}{2} \emptyset M_n < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = \frac{1}{2} 480.339.351 < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = 240.169.676 \text{ Nmm} < M_n(+) = 405.377.653 \text{ Nmm.}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

❖ Daerah Lapangan

Diambil momen terbesar:

$$M_u_{\text{tumpuan}} = 190.000.000 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u_{\text{tumpuan}}}{W} \\ &= \frac{190000000}{0,9} \end{aligned}$$

$$= 211.111.111 \text{ N.mm}$$

$$X_b = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{600}{(600 + 400)} \times 630 \\
&= 378 \text{ mm} \\
X_{\max} &< 0,75 \times X_b \\
&< 0,75 \times 378 \\
&= 283,5 \text{ mm} \\
X_{\min} &= d' \\
&= 70 \text{ mm} \\
X_{\text{rencana}} &= 0,8 \times X_{\max} \\
&= 0,8 \times 283,5 \\
&= 226,8 \text{ mm} \\
C_c &= 0,85 \times f_c' \times b \times X_{\text{rencana}} \\
&= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,84 \times 226,8 \\
&= 1.943.222 \text{ N} \\
A_{sc} &= \frac{C_c}{f_y} \\
&= \frac{1943222}{400} \\
&= 4858 \text{ mm}^2 \\
M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{S_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right) \\
&= 483492 \times 400 \times \left(630 - \frac{0,84 \times 226,8}{2} \right) \\
&= 1.039.126.519 \text{ Nmm} \\
M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
&= 211.111.111 - 1.039.126.519 \\
&= -828.015.408 \text{ Nmm} < 0
\end{aligned}$$

Dari analisa perhitungan tersebut tidak diperlukan tulangan rangkap.

- Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Positif
 Dari perhitungan diatas balok memerlukan tulangan tunggal yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \checkmark R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{211111111}{400 \times 630^2} \\
 &= 1,330 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= 0,00342
 \end{aligned}$$

Karena $\text{perlu} = 0,00342$ $\text{min} = 0,0035$ $\text{max} = 0,024$
 maka digunakan min.

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ As perlu} &= \text{min} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 400 \times 630 \\
 &= 882 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ As pakai (D-22)} \\
 \text{D} - 22 &= \frac{1}{4} \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 22^2 \\
 &= 379,940 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

✓ Sisi atas balok (tulangan tarik)

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= A_s + \frac{A_1}{4} \\
 &= 882 + 345,45 \\
 &= 1227,446 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

✓ Jumlah tulangan pasang lentur tarik

$$n = \frac{A_{\text{Sperlu}}}{\text{luasan } D_{\text{lentur}}}$$

$$= \frac{1227,446}{379,940}$$

$$= 3,231 \approx 4 \text{ buah} \rightarrow 4\text{-D22}$$

- ✓ Luasan tulangan lentur sisi bawah (tarik)
 As tul pasang = n pasang x luasan D lentur
 $= 4 \times 379,940$
 $= 1519,76 \text{ mm}^2$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$S_{\text{perlu}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \varnothing_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 19) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$= 64,67 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$$

Karena $S_{\text{perlu}} = 64,67 \text{ mm}$ $S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 1 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

- ✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$= \frac{1519,76 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400}$$

$$= 59,598 \text{ mm}^2$$

- ✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$d = h - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}}$$

$$= 700 - 40 - 19 - 22/2$$

$$= 630 \text{ mm}$$

$$\varnothing M_n = \varnothing As \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \cdot 1519,76 \cdot 400 \times \left(630 - \frac{59,598}{2} \right)$$

$$= 328.378.012 \text{ Nmm}$$

$\phi M_n \geq M_u (+)$ → perencanaan OK

Penulangan Lentur memenuhi

- Perhitungan Tulangan Lentur Untuk Momen Negatif
SNI beton pasal 21.5.2.1 dan 21.5.2.2 mengharuskan sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan yang dipasang secara menerus, dan juga mensyaratkan baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

$$\phi M_n \text{ terbesar} = 572.720.233 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{4} \phi M_n \text{ terbesar} = 143.180.058 \text{ Nmm}$$

- ✓ Tulangan Lentur Momen Negatif (Sisi Atas Balok)
asumsi awal :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{M_{u \text{ mid}(+)}}{\{f_y \times j \times d\}} + A_{s \text{ torsitiap-sisi}} \\ &= \frac{143180058}{0,9 \times 400 \times 0,85 \times 630} + 345,45 \\ &= 1088,158 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- ✓ Jumlah tulangan pasang lentur sisi atas (tekan) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s' \text{ perlu}}}{\text{luasan } D_{\text{lentur}}} \\ &= \frac{1088,158}{379,940} \\ &= 2,864 \approx 3 \text{ buah} \rightarrow 3\text{-D22} \end{aligned}$$

- ✓ Luasan tulangan lentur sisi atas (tekan)

$$\begin{aligned} \text{As tul pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D_{\text{lentur}} \\ &= 3 \times 379,940 \\ &= 1139,820 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Kontrol Spasi Antar Tulangan

$$S_{\text{perlu}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{decking}}) - (2 \times \varnothing_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 19) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$= 108 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ijin}} = 25,000 \text{ mm}$$

Karena $S_{\text{perlu}} = 108 \text{ mm}$ $S_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$, maka dipasang 1 lapis.

➤ Cek Momen Nominal Aktual

✓ Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen aktual

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c,b}}$$

$$= \frac{1139,820.400}{0,85.30.400}$$

$$= 44,699 \text{ mm}^2$$

✓ Tinggi efektif aktual balok dapat dihitung sebagai berikut:

$$d = h - \text{decking} - \varnothing_{\text{sengkan}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul lentur}}$$

$$= 700 - 40 - 19 - 22/2$$

$$= 630 \text{ mm}$$

$$\varnothing M_n = \varnothing A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \cdot 1139,82.400 \times \left(630 - \frac{44,699}{2} \right)$$

$$= 249.340.426 \text{ Nmm}$$

$\varnothing M_n \geq \mu_u(-)$ ➔ perencanaan OK

Penulangan Lentur memenuhi

➤ Cek Syarat SRPMK Untuk Kekuatan Lentur Balok

SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom

tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

$$M_n(-) = \frac{1}{2} \phi M_n < M_n(+) = 249.340.426 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = \frac{1}{2} 328.378.012 < M_n(+) = 249.340.426 \text{ Nmm.}$$

$$M_n(-) = 164.189.006 \text{ Nmm} < M_n(+) = 249.340.426 \text{ Nmm.}$$

Memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.5.2.2.

7.3.7 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan oleh nilai terbesar dari hasil analisis struktur atau dari hasil peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka *joints* di setiap ujung komponen struktur.

❖ Perhitungan *Probable Moment Capacities* (M_{pr})

Pada SNI beton 2847:2013 pasal 21.5.4.1 mengisyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsi sendi plastis terbentuk diujung-ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai $1,25 f_y$ dan faktor reduksi kuat lentur $\phi = 1$.

➤ M_{pr} Tumpuan Kiri Negatif (M_{pr-1})

$$\begin{aligned} a_{pr-1} &= 1,25 \times a_{pasang} \\ &= 1,25 \times 119,197 \\ &= 148,996 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr-1} &= 1,25 A_s f_y \times \left(d - \frac{a_{pr1}}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 3039,52 \cdot 400 \times \left(583 - \frac{148,996}{2} \right) \\ &= 772.800.940 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

➤ M_{pr} Tumpuan Kiri Positif (M_{pr-2})

$$\begin{aligned} a_{pr-2} &= 1,25 \times a_{pasang} \\ &= 1,25 \times 74,498 \\ &= 93,123 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-2} &= 1,25 A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a_{pr2}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1899,7.400 \times \left(630 - \frac{93,123}{2} \right) \\
 &= 554.179.273 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

➤ Mpr Tumpuan Kanan Negatif (Mpr-3)

$$\begin{aligned}
 a_{pr-3} &= 1,25 \times a_{pasang} \\
 &= 1,25 \times 89,398 \\
 &= 111,748 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-3} &= 1,25 A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a_{pr3}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 2278,3.400 \times \left(630 - \frac{111,748}{2} \right) \\
 &= 654.400.834 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

➤ Mpr Tumpuan Kanan positif (Mpr-4)

$$\begin{aligned}
 a_{pr-4} &= 1,25 \times a_{pasang} \\
 &= 1,25 \times 74,498 \\
 &= 93,123 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-4} &= 1,25 A_s \cdot f_y \times \left(d - \frac{a_{pr4}}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1899,7.400 \times \left(630 - \frac{93,123}{2} \right) \\
 &= 554.179.273 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Gaya Geser

➤ Struktur Bergoyang Ke Kiri

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kiri}} &= \frac{M_{pr1} + M_{pr4}}{L_n} \\
 &= \frac{772.800.940 + 554.179.273}{7200 - (500 \times 2)} \\
 &= 214.030 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kiri}} + V_u \text{ tumpuan kiri} \\
 &= 214.030 + 137.000 \\
 &= 351.030 \text{ N (arah geser ke atas)} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kiri}} - V_u \text{ tumpuan kanan} \\
 &= 214.030 - 116.000 \\
 &= 98.030 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

➤ Struktur Bergoyang Ke Kanan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway kanan}} &= \frac{M_{pr2} + M_{pr3}}{L_n} \\
 &= \frac{554.179.273 + 654.400.834}{7200 - (500 \times 2)} \\
 &= 194.932 \text{ N} \\
 V_u \text{ total ujung kanan} &= V_{\text{sway kanan}} + V_u \text{ tumpuan kanan} \\
 &= 194.932 + 116.000 \\
 &= 310.932 \text{ N (arah geser ke atas)} \\
 V_u \text{ total ujung kiri} &= V_{\text{sway kanan}} - V_u \text{ tumpuan kiri} \\
 &= 194.932 - 137.000 \\
 &= 57.932 \text{ N (arah geser ke atas)}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Tulangan Geser

➤ Cek Syarat Senggang Untuk Tumpuan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 kontribusi beton dalam menahan gaya geser (V_c) dapat diambil sama dengan 0 pada daerah sendi plastis apabila :

- ✓ Syarat 1 ➔ $V_{\text{sway}} > \frac{1}{2} V_u$ sepanjang bentang
- ✓ Syarat 2 ➔ $P_u < \frac{A_g f'_c}{20}$

Tabel 7.2 Gaya Geser di Muka Kolom Kiri dan Kanan

Arah Gerakan Gempa	V_{sway}	Vu total kiri		Vu total kanan	
		Vu	1/2 Vu	Vu	1/2 Vu
	N	N	N	N	N
Kiri	214.030	351.030	175.515	98.030	49.015
kanan	194.932	57.932	28.966	310.932	155.466

Dari hasil tabel 7.2 diatas dapat diketahui bahwa syarat 1 memenuhi. Pada perencanaan ini diketahui nilai $P_u = 0$ dapat dilihat pada subbab 7.3.1. Dengan demikian, syarat 1 dan 2 memenuhi, maka dalam perencanaan tulangan geser dilakukan dengan tidak memperhitungkan kontribusi beton ($V_c=0$) disepanjang zona sendi plastis.

➤ Daerah Tumpuan Kiri (sendi plastis)

$$V_u \text{ maks} = 351.030 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{w} - V_c \\ &= \frac{351.030}{0,75} - 0 \\ &= 468.039 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} V_{s\text{-max}} &= \frac{2}{3} \sqrt{f'c} .bw. d \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{30} .400.583 \\ &= 851.526 \text{ N} \end{aligned}$$

OK, $V_s = 468.039 \text{ N} < V_{s\text{-max}} = 851.526 \text{ N}$. Syarat V_s memenuhi.

Kebutuhan tulangan geser :

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt}.d} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= \frac{468039}{400.589} + 1,149 \\ &= 3,136 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Luasan tulangan geser :

Digunakan sengkang 3 kaki :

$$\begin{aligned}\varnothing &= D13 \\ A_v &= 3 \times A_s \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times (13)^2 \\ &= 397,995 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v}{\frac{A_v}{s}} \\ &= \frac{397,995}{3,136} \\ &= 126 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 ps 21.5.3(2) :

$$\begin{aligned}s &< d/4 \\ &< 583/4 \\ &< 145,75 \text{ mm} \\ s &< 6 \text{ dia.tul memanjang terkecil} \\ &< 6 \times 22 \\ &< 132 \text{ mm} \\ s &< 150 \text{ mm} \\ s &\text{ tidak boleh kurang dari } 100 \text{ mm.}\end{aligned}$$

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang di daerah sendi plastis menggunakan sengkang tertutup 3 kaki D13-100 Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

- Daerah Tumpuan Kanan (sendi plastis)

$$V_u \text{ maks} = 310.932 \text{ N}$$

Maka, akan sama seperti tumpuan kiri, diperlukan tulangan sengkang tertutup 3 kaki D13-100.

➤ Daerah Lapangan (ujung zona sendi plastis)

$$\begin{aligned} V_u \text{ lapangan} &= 114.000 \text{ N} \\ V_u &= V_{\text{sway}} + V_u \text{ lapangan} \\ &= 214.030 + 114.00 \\ &= 328.030 \text{ N} \end{aligned}$$

Terletak diujung zona sendi plastis (2h dari muka kolom). Pada zona ini, kontribusi V_c dapat diperhitungkan.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} .bw. d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{30} .400. 630 \\ &= 234.644 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{W} - V_c \\ &= \frac{328.030}{0,75} - 234.644 \\ &= 202.729 \text{ N} \end{aligned}$$

(diperlukan tulangan geser, perhitungan tulangan geser lapangan)

Kontrol V_s sesuai SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.1

$$\begin{aligned} V_s &> 0,5. \emptyset V_c \\ 202.729 &> 0,5.0,75.234.644 \\ 202.729 &> 87.991,5 \text{ N} \\ \text{OK, } V_s = 202.729 \text{ N} &> 0,5\emptyset V_c = 80.241 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &< \emptyset.0,17. \sqrt{f'c} .bw. d \\ 202.729 &< 0,7.0,17. \sqrt{30} .400. 630 \\ 202.729 &< 164.000 \text{ N} \\ \text{OK, } V_s = 202.729 \text{ N} &< \emptyset.0,17. \sqrt{f'c} .bw.d = 164.000 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari kedua syarat diatas tidak memenuhi. Jadi, diperlukan tulangan geser.

Kebutuhan tulangan geser SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.2:

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y t.d} + 2 \frac{A_t}{s} \\ &= \frac{202.729}{400.589} + 1,149 \\ &= 2,598 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Luasan tulangan geser :

Digunakan sengkang 3 kaki :

$$\begin{aligned}\varnothing &= \text{D13} \\ A_v &= 3 \times A_s \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times (13)^2 \\ &= 397,995 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kebutuhan spasi tulangan geser pada tumpuan:

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v}{\frac{A_v}{s}} \\ &= \frac{397,995}{2,598} \\ &= 153 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok menurut SNI 2847:2013 ps 21.5.3(4) :

$$\begin{aligned}s &< d/2 \\ &< 583/2 \\ &< 292 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari perhitungan jarak diatas digunakan spasi terkecil. Dengan demikian, tulangan sengkang di ujung sendi plastis menggunakan sengkang tertutup 3 kaki D13-150.

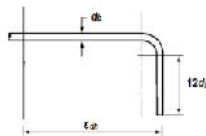
7.3.8 Panjang Penyaluran

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D22 berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 12.2, dimana untuk nilai d tidak boleh kurang dari 300 mm dan untuk perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik SNI 2847:2013 pasal 12.2.3 :

$$\begin{aligned}
 C_b &= 40 + 19 + 22/2 \\
 &= 70 \text{ mm} \\
 L_d &= \left[\frac{f_y}{1,1 \sqrt{f'_c}} \left(\frac{E_t \times E_e \times E_s}{(C_b + K_{tr}/db)} \right) \right] \times db \\
 &= \left[\frac{400}{1,1 \cdot 1 \sqrt{30}} \left(\frac{1 \times 1 \times 1}{(70 + 0/22)} \right) \right] \times 22 \\
 &= 459,044 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tarik 500 mm

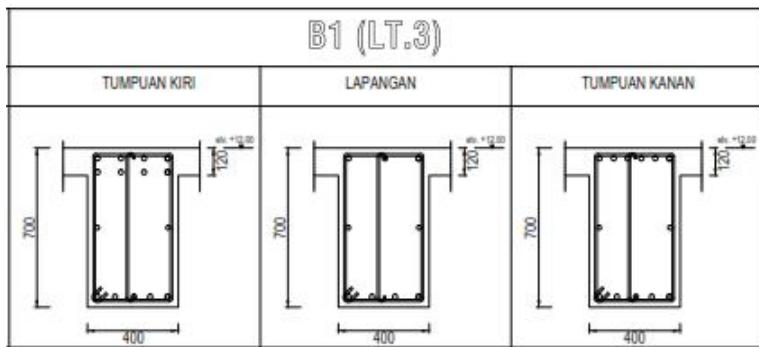
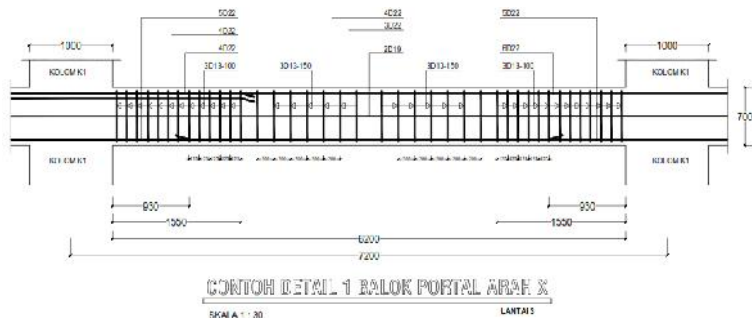


Gambar 7.24 Keterangan Untuk Panjang Penyaluran

- b. Panjang penyaluran tulangan tekan SNI 2847:2013 pasal 12.3.2:

$$\begin{aligned}
 L_d &= db \times \frac{0,24 \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \\
 &= 22 \times \frac{0,24 \cdot 400}{1 \sqrt{30}} \\
 &= 385,597 \text{ mm} \\
 L_d &= 0,043 \cdot f_y \cdot db \\
 &= 0,043 \cdot 400 \cdot 22 \\
 &= 378,4
 \end{aligned}$$

Dipakai panjang penyaluran tulangan tekan yang terbesar dari perhitungan diatas 500 mm.



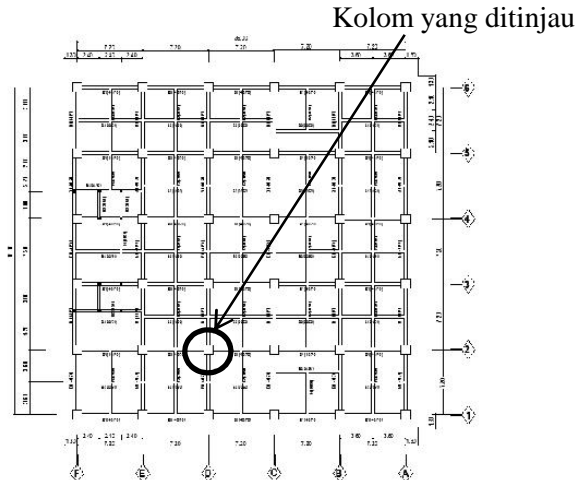
Gambar 7.25 Detail Penulangan Pada Balok

7.4 Analisa Struktur Kolom

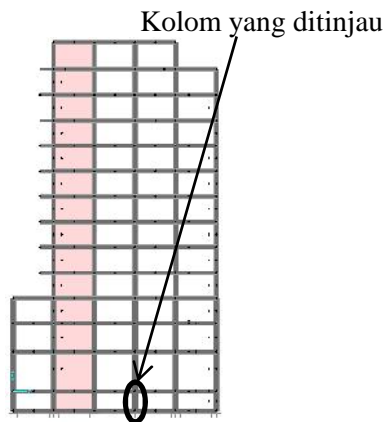
Dalam struktur bangunan ini terdapat 2 macam dimensi kolom, yaitu 100/100 cm pada lantai basement sampai lantai 3, dan 80/80 cm pada lantai 4 sampai lantai 14. Untuk perhitungan kolom lantai 1 sampai dengan lantai 13 akan direkapitulasi dan disajikan dalam bentuk tabel pada Lampiran E. Sebagai contoh perhitungan, akan direncanakan kolom interior 100/100 cm pada lantai 3, dengan data – data kolom sebagai berikut :

- Tinggi kolom : 3500 mm
- Dimensi Kolom : 1000 x 1000 mm

- Mutu beton f_c' : 40 Mpa
- Mutu baja f_y : 400 Mpa
- \varnothing tul memanjang : D22 mm
- \varnothing tul sengkang : D16 mm



Gambar 7.26 Denah Kolom 1000/1000 Pada Lantai 3



Gambar 7.27 Potongan Untuk Lokasi Balok memanjang 40/70 pada Lantai 3

7.4.1 Cek Syarat Gaya Terfaktor Kolom

❖ Gaya-gaya terfaktor yang terjadi pada kolom yang ditinjau harus sesuai dengan syarat-syarat dibawah ini :

➤ Definisi kolom

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja harus lebih besar dari :

$$\frac{Ag \times f_c'}{10} = \frac{(1000 \times 1000) \times 40}{10}$$

$$= 4.000.000 \text{ N}$$

Pu maksimum = 8.962.000 N – OK.

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak boleh kurang dari 300 mm.

Sisi terpendek kolom, $b = 1000 \text{ mm}$

OK, $b > 300 \text{ mm}$

- c. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

Rasio antara b dan $h = 1000/1000$

$= 1$

OK, b/h rasio $> 0,4$

7.4.2 Cek Konfigurasi Penulangan

Dari hasil desain berdasarkan gaya dalam, direncanakan tulangan lentur pada kolom dengan 36-D22. Rasio tulangan ρ_g dibatasi tidak kurang dari 0,01 dan tidak lebih dari 0,06.

$$A_s = 36 \times \frac{1}{4} \times f \times D^2$$

$$= 36 \times \frac{1}{4} \times f \times 22^2$$

$$= 13677,84 \text{ mm}^2$$

$$\rho_g = \frac{A_s}{A_g}$$

$$= \frac{13677,84}{1000000}$$

$$= 0,0137$$

0,01 $< \rho_g < 0,06$ – OK.

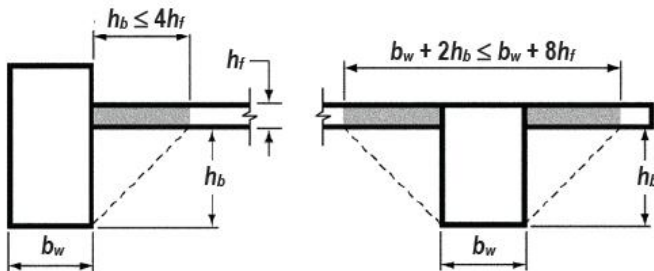
7.4.3 Cek Syarat *Strong Coloumn Weak Beam*

Berdasar SNI Pasal 21.6.2.2 kuat kolom M_n harus memenuhi $M_c \geq 1,2 M_g$.

M_c = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join.

M_g = jumlah M_n dua balok yang bertemu di join (termasuk sumbangan tulangan pelat di selebar efektif pelat lantai)

Menentukan lebar efektif balok:



Gambar 7.28 Lebar Efektif Balok

Nilai b_e :

a. $b_w + 2h_b = 400 + 2 \times (700 - 120) = 1560 \text{ mm}$

b. $b_w + 8h_f = 400 + (8 \times 120) = 1360 \text{ mm}$

Dipakai nilai b_e terkecil yaitu sebesar 1360 mm.

Menentukan M_n kiri dan kanan pada balok lantai 1 :

$$\begin{aligned} M_n \text{ kiri} &= \left\{ \rho \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{A_s \times f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_e} \right) \right\} \\ &= 0,9 \times 1899,7 \times 400 \times \left(630 - \frac{1899,7 \times 400}{2 \times 0,85 \times 40 \times 1360} \right) \\ &= 425.232.628 \text{ N-mm} \\ &= 426 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ kanan} &= \left\{ \rho \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{A_s \times f_y}{2 \times 0,85 \times f_c' \times b_e} \right) \right\} \\ &= 0,9 \times 759,88 \times 400 \times \left(630 - \frac{759,88 \times 400}{2 \times 0,85 \times 40 \times 1360} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 171.411.691 \text{ N-mm} \\
 &= 172 \text{ kNm} \\
 M_g &= 1,2 \times (M_n \text{ kanan} + M_n \text{ kiri}) \\
 &= 1,2 \times (426 + 172) \\
 &= 718 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Menentukan M_n kolom atas dan bawah:

❖ Perhitungan Beban Berfaktor (P_u dan M_u)

Gaya dalam kolom dapat diketahui dari output dari program bantu SAP 2000, disajikan dalam tabel 7.3 sebagai berikut :

Tabel 7.3 Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gravitasi (1,2DL+1,6LL)

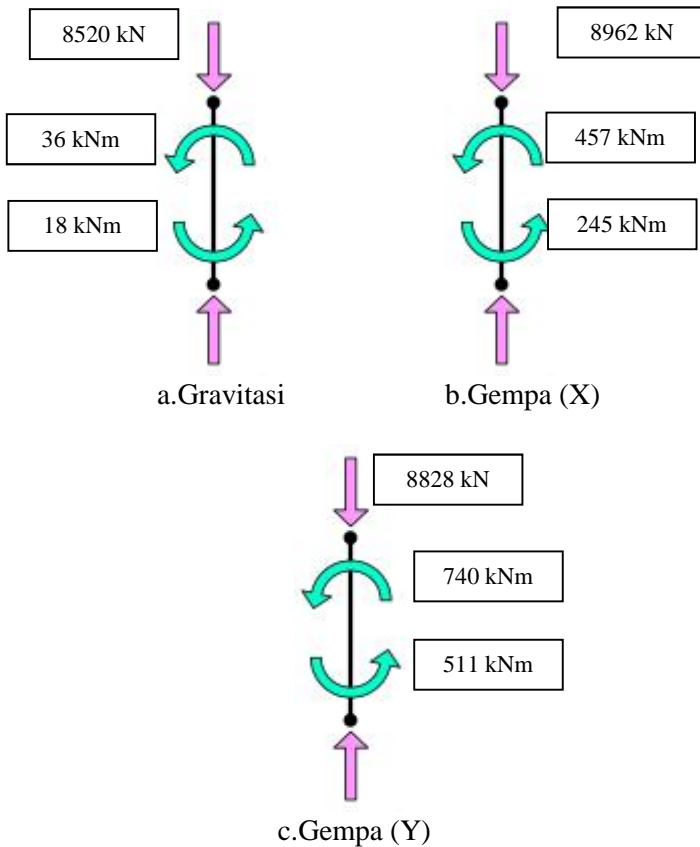
LANTAI	P_u	M_u-x	M_u-y	P_u	M_u-x	M_u-y
	Bawah			Atas		
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m
LANTAI B.M	9371	8	6	9290	18	5
LANTAI 1	8520	36	29	8338	43	12
LANTAI 2	7686	49	40	7562	5	18
LANTAI 3	6894	14	28	6785	18	6
LANTAI 4	6167	18	13	6096	14	8
LANTAI 5	5503	17	19	5433	21	15
LANTAI 6	4852	25	26	4782	22	24
LANTAI 7	4209	42	30	4139	70	24
LANTAI 8	3462	82	44	3392	71	63
LANTAI 9	2833	67	82	2763	74	77
LANTAI 10	2210	70	77	2140	60	73
LANTAI 11	1641	68	71	1571	96	66
LANTAI 12	858	80	58	788	37	51
LANTAI 13	390	7	60	315	27	106

Tabel 7.4 Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gempa (RSP-X)

LANTAI	Pu	Mu-x	Mu-y	Pu	Mu-x	Mu-y
	Bawah			Atas		
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m
LANTAI B.M	9793	30	169	9704	166	245
LANTAI 1	8962	236	457	8763	58	91
LANTAI 2	8124	200	455	7988	105	198
LANTAI 3	7336	159	476	7216	138	374
LANTAI 4	6585	143	363	6508	127	339
LANTAI 5	5882	151	470	5805	146	413
LANTAI 6	5189	152	488	5112	152	455
LANTAI 7	4502	159	508	4425	183	483
LANTAI 8	3755	178	525	3677	183	533
LANTAI 9	3067	165	558	2990	183	555
LANTAI 10	2387	156	547	2310	161	547
LANTAI 11	1754	144	534	1677	184	554
LANTAI 12	986	145	515	909	120	480
LANTAI 13	459	43	578	375	85	846

Tabel 7.5 Rekapitulasi Gaya-Gaya Dalam Kolom Akibat Beban Gempa (RSP-Y)

LANTAI	Pu	Mu-x	Mu-y	Pu	Mu-x	Mu-y
	Bawah			Atas		
	kN	kN-m	kN-m	kN	kN-m	kN-m
LANTAI B.M	9655	76	66	9566	511	174
LANTAI 1	8828	740	290	8628	135	65
LANTAI 2	8000	569	237	7864	313	139
LANTAI 3	7223	466	217	7103	393	168
LANTAI 4	6481	430	205	6404	378	176
LANTAI 5	5793	446	232	5716	425	209
LANTAI 6	5112	432	239	5035	436	228
LANTAI 7	4436	425	245	4358	464	237
LANTAI 8	3696	426	255	3619	455	273
LANTAI 9	3015	392	284	2938	440	285
LANTAI 10	2341	360	272	2264	399	274
LANTAI 11	1712	326	260	1635	402	273
LANTAI 12	953	307	237	876	315	217
LANTAI 13	495	108	267	412	180	405

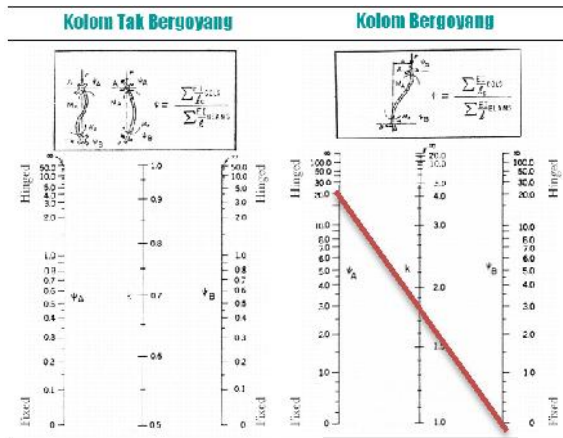


Gambar 7.29 Gaya Dalam Pada Kolom

❖ Kontrol Kelangsingan Kolom (k.lu/r)

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } E_c &= 4700 \sqrt{40} \\
 &= 29725,410 \text{ Mpa} \\
 \text{➤ } I_g (\text{kolom}) &= \frac{(1000)^4}{12} \\
 &= 8,333 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{➤ } I_g (\text{balok}) &&= \frac{400 \times (700)^3}{12} \\
 &&&= 1,143 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \\
 &\text{➤ Kolom lantai basement (EI/lc)} \\
 &\frac{EI}{l_c} &&= \frac{0,7 \times 29725,410 \times 8,333 \times 10^{10}}{3500} \\
 &&&= 495.403.683.100 \text{ Nmm.} \\
 &\text{➤ Kolom lantai 1 (EI/lc)} \\
 &\frac{EI}{l_c} &&= \frac{0,7 \times 29725,410 \times 8,333 \times 10^{10}}{7000} \\
 &&&= 247.701.841.500 \text{ Nmm.} \\
 &\text{➤ Balok (EI/lb)} \\
 &\frac{EI}{l_c} &&= \frac{0,35 \times 29725,410 \times 1,143 \times 10^{10}}{7200} \\
 &&&= 16.516.180.930 \text{ Nmm.} \\
 &\text{➤ Faktor Tahanan Ujung ()} \\
 &\text{A} &&= \frac{\sum (EI / \text{ })_{kolom}}{\sum (EI / \text{ })_{balok}} \\
 &&&= \frac{495403683100 + 247701841500}{33032361860} \\
 &&&= 22,496 \\
 &\text{B} &&= 0 \text{ (jepit)}
 \end{aligned}$$



Gambar 7.30 Diagram Nomogram

Dapat diperoleh nilai k yaitu 1,85

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{k l_u}{r} &= \frac{1,85 \times 3500}{0,3 \times 1000} < 22 \\ &= 21,583 < 22 \text{ --OK} \end{aligned}$$

Pengaruh kelangsingan penampang tidak perlu diperhitungkan dalam perencanaan.

❖ Kontrol Nilai l_u/r

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{l_u}{r} &< \frac{35}{\sqrt{\frac{P_u}{f'c \cdot A_g}}} \\ \frac{3500}{(0,3 \times 1000)} &< \frac{35}{\sqrt{\frac{8962 \times 10^3}{40 \times 1000 \times 1000}}} \\ 11,667 &< 73,943 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas M_{2ns} tidak perlu dikalikan faktor perbesaran.

❖ Perhitungan Gaya Aksial (P_c)

Gaya aksial berfaktor total diperoleh dari analisa program bantu SAP 2000 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_u &= 6.459.526 & \text{kg} \\ P_{c-x} &= 11.822.807 & \text{kg} \\ P_{c-y} &= 6.965.592 & \text{kg} \end{aligned}$$

Dimana :

P_u : perhitungan penjumlahan nilai P (kombinasi 1,2D + 1,6L) dalam satu lantai yang sama.

P_c : perhitungan penjumlahan nilai P (beban gempa) dalam satu lantai yang sama

❖ Perhitungan Perbesaran Momen (δ)

$$\begin{aligned} s-X &= \frac{1}{\frac{1 - \sum P_u}{0,75 \sum P_{c-x}}} \geq 1 \\ &= \frac{1}{\frac{1 - 6459526}{0,75 \times 11822807}} \geq 1 \\ &= 1,373 \geq 1 \\ s-X &= 1,373 \\ s-Y &= \frac{1}{\frac{1 - \sum P_u}{0,75 \sum P_{c-y}}} \geq 1 \\ &= \frac{1}{\frac{1 - 6459526}{0,75 \times 6965592}} \geq 1 \\ &= 0,809 \geq 1 \\ s-Y &= 1 \end{aligned}$$

❖ Penentuan Beban Rencana

➤ Gaya Aksial Maksimum

$$Pu \text{ gravitasi} = 8520 \text{ kN}$$

$$Pu-x = 8962 \text{ kN}$$

$$Pu-y = 8828 \text{ kN}$$

➤ Momen Arah X

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + s-X \cdot M_{1s} \\ &= 18 + (1,3 \cdot 245) \\ &= 336,5 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + s-X \cdot M_{2s} \\ &= 36 + (1,3 \cdot 457) \\ &= 630,1 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{c-X} &= M_2 \\ &= 630,100 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

➤ Momen Arah Y

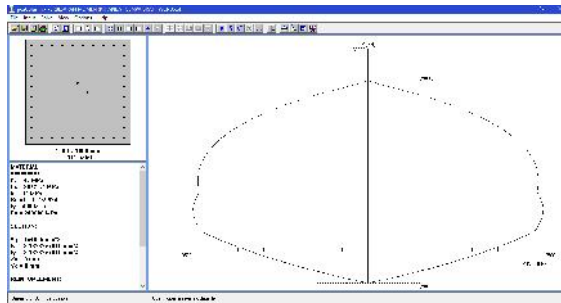
$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + s-Y \cdot M_{1s} \\ &= 5 + (1 \cdot 511) \\ &= 516 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + s-Y \cdot M_{2s} \\ &= 29 + (1 \cdot 740) \\ &= 769 \text{ kN-m.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{c-Y} &= M_2 \\ &= 776 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Kapasitas Nominal Kolom (P_n dan M_n)

Dilakukan analisa menggunakan program bantu *SPColoumn* dan diperoleh diagram interaksi hubungan P_n dan M_n sebagai berikut :



Gambar 7.31 Diagram Interaksi Hubungan P-M Pada Kolom

Comments: Using full size with 40 bars, 40 with larger bars.
 $\rho(x) = 0.01$, $\rho(y) = 0.01$, $\rho(z) = 0.01$.

Legend: Rectangular
 Rebar: A11 16mm Equal (Cover to reinforcement)
 Total steel area, $A_s = 10000 \text{ mm}^2$ at 1.076
 36 #22 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	PhiP kN-m	PhiMx kN-m	PhiMy kN-m
1	8250.0	10.0	0.0	2054.1	931.7	100.248
2	8250.0	16.0	0.0	2054.1	2038.6	90.207
3	8721.0	166.0	216.0	1844.0	2721.5	11.108
4	8062.0	216.0	937.0	1847.0	2058.7	6.070
5	8566.0	911.0	170.0	2246.1	1106.4	6.353
6	8828.0	700.0	200.0	2192.2	1251.0	3.883
7	8062.0	450.0	766.0	2068.2	2714.7	8.288

*** Program completed successfully ***

Gambar 7.32 Output Momen Nominal Pada Kolom

$$\begin{aligned}
 M_c &= (M_n \text{ atas} + M_n \text{ bawah}) \\
 &= 3354 \text{ kNm} + 3198 \text{ kNm} \\
 &= 6552 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jadi, kuat kolom M_n memenuhi M_c 1,2 M_g terpenuhi.
Strong Coloumn Weak Beam.

7.4.4 Desain Tulangan *Confinement*

Perhitungan tulangan transversal sebagai *confinement* dapat dihitung sebagai berikut:

- Tentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*). Tulangan *hoop* diperlukan sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom dengan l_o merupakan nilai terbesar dari (SNI32847:2013 pasal 21.6.4.1) :
 - Tinggi komponen struktur di joint
$$h = 1000 \text{ mm (digunakan)}$$

- $\frac{1}{6}$ bentang bersih komponen struktur

$$\begin{aligned}\frac{1}{6}L_n &= \frac{1}{6}(3500 - 700) \\ &= 466,667 \text{ mm}\end{aligned}$$

- 450 mm

- b. Tentukan spasi maksimum *hoop*, s_{max} , pada daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom. Nilai s_{max} merupakan nilai terbesar dari (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3):

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum

$$\begin{aligned}\frac{b_{kolom}}{4} &= \frac{1000}{4} \\ &= 250\end{aligned}$$

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$\begin{aligned}6d_b &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm}\end{aligned}$$

- s_o , dengan s_o tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$\begin{aligned}S_o &= 100 + \frac{350 - 0,5h_c}{3} \\ &= 100 + \frac{350 - 0,5(700 - 2(40) - 16/2)}{3} \\ &= 114,667 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan spasi *hoop* sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom 100 mm.

Digunakan sengkang (*hoop*) 4D13-100

$$\begin{aligned}A_{spasang} &= 4 \times 0,25 \times (13)^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- c. Penentuan luas tulangan *confinement*.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4, untuk daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara:

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s b_c f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{b_c f'_c}{f_y}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} b_c &= \text{lebar penampang inti beton (yang tekekang)} \\ &= b - 2 (p + \frac{1}{2} d_b) \\ &= (1000 - 100) - 2 (40 + \frac{1}{2} 16) \\ &= 804 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= (b - 2t_{se\lim ut}) \times (h - 2t_{se\lim ut}) \\ &= (1000 - 2(40)) \times (1000 - 2(40)) \\ &= 846.400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh1}}{s} &= 0,3 \left(\frac{b_c f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \left(\frac{804.40}{400} \right) \left(\frac{1000^2}{846400} - 1 \right) \\ &= 4,377 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh2}}{s} &= 0,09 \frac{b_c f'_c}{f_y} \\ &= 0,09 \frac{804.40}{400} \\ &= 7,236 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Nilai yang menentukan, yaitu 7,236 mm²/mm. Coba digunakan sengkang (hoop) 4 kaki D13, maka spasi yang diperlukan:

$$S = \frac{A_{geser}}{A_{sh1} / s}$$

$$S = \frac{530,66}{7,236}$$

$$S = 100 \text{ mm.} \rightarrow \text{OK (sesuai syarat diatas)}$$

Jadi sepanjang $l_o = 1000 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom harus disediakan sengkang tertutup 4 kaki D13-100 mm.

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi l_o di masing-masing ujung kolom) diberi *hoops* dengan spasi minimum (SNI2847:2013 pasal 21.6.45) :

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

- 150 mm

Digunakan spasi 125 mm.

7.4.5 Perhitungan Gaya Geser Desain (V_e)

Gaya geser desain yang digunakan untuk menentukan jarak dan luas tulangan transversal ditentukan dari nilai (i), tetapi tidak perlu lebih besar dari nilai (ii), dan harus melebihi nilai (iii) (MacGregor, 2009)

$$(i) \quad V_{sway1} = \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u}$$

$$(ii) \quad V_{sway2} = \frac{\sum M_{prb,atas} DF_{atas} + \sum M_{prb,bawah} DF_{bawah}}{l_u}$$

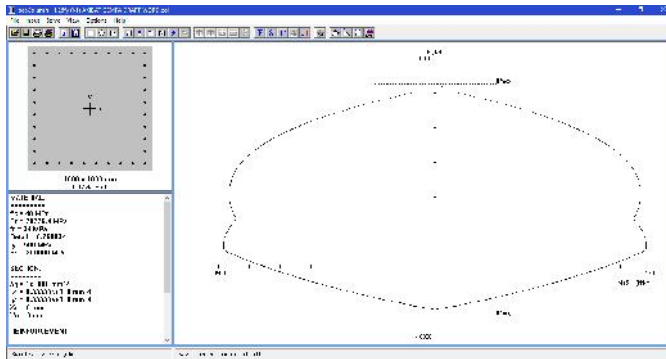
(iii) V_u hasil analisis struktur = 162 kN

➤ Hitung $M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$

$M_{prc,atas}$ dan $M_{prc,bawah}$ didapat dari diagram interaksi kuat, P_n - M_{pr} kolom. Diagram interaksi didapat dengan menggunakan $f_s = 1,25 f_y$ dan $\phi = 1$. Dari Gambar 7.29 dan Gambar 7.30 diketahui besarnya $M_{prc,atas}$, dan $M_{prc,bawah}$.

$$M_{prc,atas} = 4809 \text{ kNm}$$

$$M_{prc,bawah} = 4809 \text{ kNm}$$



Gambar 7.33 Diagram Interaksi Kolom

Control Points:

Bending about	Axial Load P kN	X-Moment kN-m	Y-Moment kN-m	N.A. depth mm
X @ Pure compression	26245.1	0	0	5646
@ Max compression	20996.1	2043	0	1105
@ $r_s = 0.0$	17932.3	2886	0	941
@ $f_o = 0.5 \cdot f_y$	12174.0	3713	0	564
@ Balanced point	8530.3	3901	0	513
@ Tension Control	7014.7	4009	0	353
@ Pure bending	0.0	2713	0	135
@ Pure tension	-6156.1	-0	-0	0
Y @ Pure compression	26245.1	0	0	5646
@ Max compression	20996.1	0	2043	1105
@ $r_s = 0.0$	17932.3	0	2886	941
@ $f_o = 0.5 \cdot f_y$	12174.0	0	3713	564
@ Balanced point	8530.3	0	3901	513
@ Tension Control	7014.7	0	4009	353
@ Pure bending	0.0	0	2713	135
@ Pure tension	-6156.1	-0	-0	0

Gambar 7.34 Output Momen Nominal Pada Kolom

➤ Hitung V_e

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{M_{prc,atas} + M_{prc,bawah}}{l_u} \\
 &= \frac{4809 + 4809}{3,5} \\
 &= 2748 \text{ kN.}
 \end{aligned}$$

➤ Hitung V_u

Sedangkan untuk M_{pr} akibat tulangan terpasang balok yang berada pada Hubungan Balok Kolom (HBK) didapatkan dari perhitungan sebelumnya yaitu:

$$\begin{aligned}
 V_{sway} &= \frac{(M_{prb.atas}) \times DF_{atas} + (M_{prb.bawah}) \times DF_{bawah}}{L_n} \\
 &= \frac{(426+172) \times 0,5 + (426+172) \times 0,5}{3,5 - (0,7/2 \times 2)} \\
 &= 213,571 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

➤ Kontrol

$$V_e > V_u = 162 \text{ kN} \quad \text{-OK.}$$

Perencanaan Geser memenuhi syarat sesuai *SNI2847:2013, Pasal 21.6.5.1*, dimana nilai V_e tidak boleh lebih kecil dari pada nilai gaya geser terfaktor yang dibutuhkan berdasarkan hasil analisa struktur. Besarnya nilai V_u akan ditahan oleh kuat geser beton (V_c) dan kuat tulangan geser (V_s). Nilai V_c dapat dianggap = 0, sesuai *SNI 2847:2013, Pasal 21.6.5.2*, apabila;

➤ Cek apakah kontribusi beton diabaikan atau tidak dalam menahan gaya geser desain (untuk daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom)

Kontribusi beton diabaikan dalam menahan gaya geser rencana bila (*SNI32847:2013 pasal 21.6.5.2*) :

- Gaya geser yang ditimbulkan gempa, V_{sway} , mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o .

- Gaya tekan aksial terfaktor, $P_u = 7.990.000 \text{ N}$ kurang dari $A_g f'_c / 10$.

$$\begin{aligned}
 \frac{A_g f'_c}{10} &= \frac{1000 \times 1000 \times 40}{10} \\
 &= 4.000.000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena $P_u > \frac{A_g f'_c}{10}$ kontribusi beton perlu untuk diperhitungkan.

➤ Hitung tulangan transversal penahan geser untuk daerah sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom.

- Hitung kuat geser beton bila dianggap berkontribusi menahan geser

$$\begin{aligned} d &= h_{kolom} - \left(t_{decking} + d_{geser} + \frac{d_{lentur}}{2} \right) \\ &= 1000 - \left(40 + 16 + \frac{22}{2} \right) \\ &= 933 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{8962000}{14 \cdot 1000^2} \right) 1 \sqrt{40} \cdot 1000 \cdot 933 \\ &= 1.645.289,165 \text{ N.} \\ &= 1.645 \text{ kN.} \end{aligned}$$

- Hitung tulangan transversal untuk menahan gaya geser rencana :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{W} - V_c \\ &= \frac{2748}{0,75} - 1645 \\ &= 2019 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tulangan transversal penahan geser diperlukan diperhitungkan, sehingga :

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \cdot d} \\ &= \frac{2019000}{400 \cdot 933} \\ &= 5,410 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jadi, $\frac{A_v}{s}$ yang diperlukan lebih kecil dari persyaratan $\frac{A_{sh}}{s}$ pada perhitungan sebelumnya, maka dapat digunakan 4 kaki D13-100.

- Hitung tulangan geser yang diperlukan di luar l_o
 Untuk tulangan transversal penahan geser daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi l_o di masing-masing ujung kolom) digunakan spasi minimum sesuai (SNI32847:2013 pasal 21.6.45) :
- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 $6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
 - 150 mm
- Digunakan hoop 4 kaki D13-125.

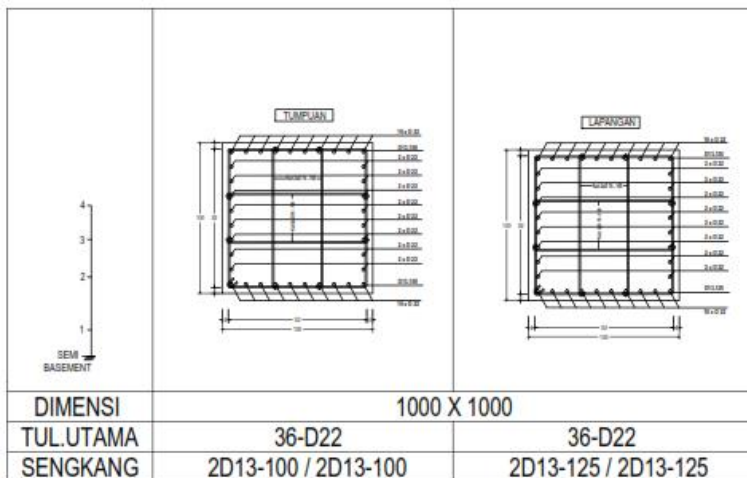
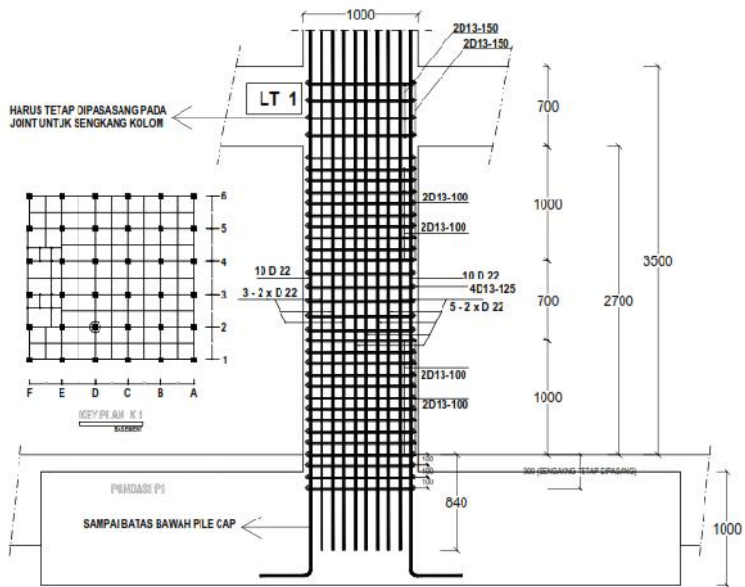
7.4.6 Perhitungan Sambungan Lewatan

Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B. Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah $1,3l_d$. SNI3-2847:2012 pasal 12.15.1). Besarnya l_d ditetapkan berdasarkan SNI:2847:2013 pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai $K_{tr} = 0$ untuk penyederhanaan desain.

$$\begin{aligned}
 L_d &= \left(\frac{f_y}{1,1 \sqrt{f'_c}} \frac{t \ e \ s}{\left(c_b + K_{tr} \right)} \right) d_b \\
 &= \left(\frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{(2,5)} \right)^{22} \\
 &= 505 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1,3 L_d &= 1,3 \times 505 \text{ mm} \\
 &= 658 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

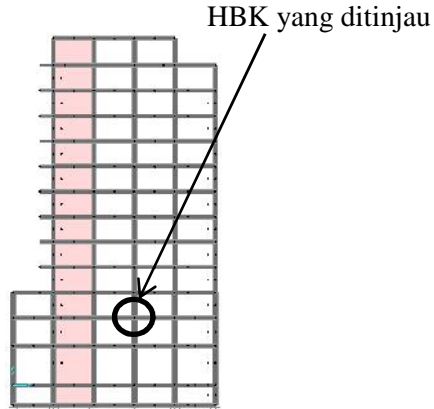
Digunakan sambungan lewatan sepanjang 700 mm.



Gambar 7.35 Detail Penulangan Pada Kolom

7.5 Hubungan Balok dengan Kolom (HBK)

Daerah pertemuan antara kolom dan balok atau yang disebut Hubungan Balok Kolom (HBK), merupakan daerah yang juga harus didetailkan dengan baik. Persyaratan desain HBK, dijelaskan dalam perhitungan dibawah ini :



Gambar 7.36 Hubungan Balok dengan Kolom Yang Ditinjau

7.5.1 Cek Syarat Panjang *Joint*

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar (SNI2847:2013 pasal 21.7.2.3).

$$b = h = 1000 \text{ mm}$$

$$20 d_b = 20 \cdot 22$$

$$= 440 \text{ mm}$$

$$b > 20 d_b \quad \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

7.5.2 Perhitungan Luas Efektif *Joint* (A_j)

A_j merupakan perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif (SNI32847:2013 pasal 21.7.4.1)

$$b \text{ balok} = 400 \text{ mm}$$

$$h \text{ kolom} = 1000 \text{ mm}$$

$$x = (1000 - 400) / 2$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom
 = h kolom
 = 1000 mm

Lebar joint efektif merupakan nilai terkecil dari :

➤ $b+h$ = 400+1000
 = 1400 mm

➤ $b+2x$ = 400+2(300)
 = 1000 mm

Aj = tinggi *joint* x Lebar efektif *joint*
 = 1000 x 1000
 = 1.000.000 mm².

7.5.3 Penulangan Transversal Untuk *Confinement*

Untuk joint interior, jumlah tulangan *confinement* setidaknya setengah dari tulangan *confinement* yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom. Spasi vertikal tulangan *confinement* ini diizinkan untuk diperbesar hingga 150 mm (SNI 2847:2013 pasal 21.7.3.2).

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= 0,09 \frac{b_c f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \frac{804,40}{400} \\ &= 7,236 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ \frac{A_{sh}}{s} &= 0,5 \cdot \frac{A_{sh}}{s} \text{ ujung-ujung kolom} \\ &= 0,5 \cdot 7,236 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ &= 3,618 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

Dipakai 4D13, Aspakai= 530,66 mm²

$$\begin{aligned}s &= \frac{Aspakai}{Asperlu} \\ &= \frac{530,66 \text{ mm}^2}{3,618 \text{ mm}^2/\text{mm}} \\ &= 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan s = 150 mm

7.5.4 Perhitungan Gaya Geser Pada Joint

Balok yang memasuki joint dari hasil analisa balok pada subbab 7.4 memiliki:

$$✓ M_{prb-1} = 772 \text{ kNm}$$

$$✓ M_{prb-4} = 554 \text{ kNm.}$$

Pada joint, kekakuan kolom atas dan kolom bawah sama, sehingga DF diambil 0,5 untuk setiap kolom.

$$\begin{aligned} Me &= 0,5 (M_{prb-1} + M_{prb-2}) \\ &= 0,5 (772 + 554) \\ &= 663 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{Me + Me}{lu} \\ &= \frac{663 + 663}{3,5} \\ &= 378,857 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Ditinjau arah bolak-balik sebagai akibat dari beban gempa sebagai berikut :

✓ Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri:

$$A_s \text{ balok kiri } 8D22 = 3039,52 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \\ &= 1,25 \cdot 3039,52 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \\ &= 1.519.760 \text{ N} \end{aligned}$$

✓ Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri:

$$\begin{aligned} C_1 &= T_1 \\ &= 1.519.760 \text{ N} \end{aligned}$$

✓ Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan:

$$A_s \text{ balok kiri } 5D22 = 1899,70 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \\ &= 1,25 \cdot 1899,70 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \\ &= 949.850 \text{ N} \end{aligned}$$

✓ Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan:

$$\begin{aligned} C_2 &= T_2 \\ &= 949.850 \text{ N} \end{aligned}$$

7.5.5 Gaya Geser Pada Daerah *Joint* (V_j)

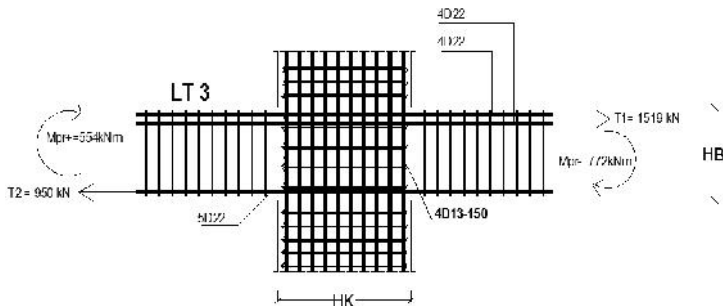
$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + C_2 - V_{\text{sway}} \\ &= 1519760 + 949850 - 378857 \\ &= 2.090.753 \text{ N} \end{aligned}$$

7.5.6 Cek Kuat Geser Pada *Joint*

Kuat Geser (V_n) HBK yang dikeang dikeempat sisinya ialah:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \sqrt{f'_c} A_j \\ &= 1,7 \sqrt{40} 1.000.000 \\ &= 10.751.744,4 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,75 \times 10.751.744,4 \text{ N} \\ &= 8.063.809 \text{ N} \\ \phi V_n &> V_j \quad \text{OK.} \end{aligned}$$

Jadi, dimensi HBK mencukupi, dan dipasang 4 kaki D13 dengan jarak 150 mm pada semua daerah hubungan balok dan kolom (HBK) perancangan struktur gedung ini.



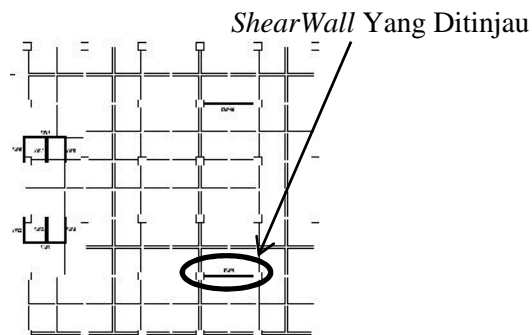
Gambar 7.37 Detail dan Gaya-Gaya Pada Hubungan Balok Kolom

7.6 Analisa Struktur Dinding Geser (*Shear Wall*)

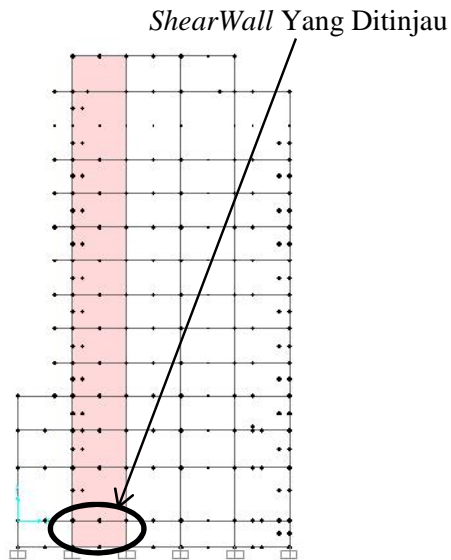
Pada dinding geser, gaya maksimum terjadi pada dasar dinding, yaitu V_u maksimum dan momen maksimum M_u . Jika tegangan lentur diperhitungkan besar tegangan lentur tersebut akan dipengaruhi oleh beban aksial (kombinasi beban aksial lentur).

Dalam struktur bangunan ini terdapat 4 model seksional dinding geser, yaitu SW1 sampai dengan SW4. Dengan tebal masing-masing 300 mm. Sebagai contoh perhitungan direncanakan dinding geser SW9 pada as CB;2 lantai basement berdasarkan hasil analisa program bantu SAP. Adapun data-data perhitungan adalah sebagai berikut :

➤ P_u (1,32DL+1,3Ex+1,0LL)	: 2.769.170	kg
➤ M_u (1,32DL+1,3Ey+1,0LL)	: 462.350	kg-m
➤ V_u (1,32DL+1,3EX+1,0LL)	: 570.447	kg
➤ Tebal Dinding (tw)	: 300	mm
➤ Panjang Dinding (lw)	: 7200	mm
➤ Tinggi Total Dinding (hw)	: 61800	mm
➤ Selimut Beton (p)	: 400	mm
➤ Mutu Beton (f'_c)	: 40	Mpa
➤ Mutu Tulangan Longitudinal (f_y)	: 400	Mpa



Gambar 7.38 Denah *ShearWall* pada Lantai Basement



Gambar 7.39 Potongan Lokasi *ShearWall* pada Lantai Basement

7.6.1 Kontrol Ketebalan Terhadap Gaya Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh melebihi :

$$0,83Acw\sqrt{f'c}$$

Dimana :

Acw : Luas penampang dinding yang ditinjau

: $h \times d$ (menurut SNI 2847:2013 pasal 11.9.4, $d=0,8 \ w$)

$$V_u < 0,83 \ Acw \sqrt{f'c}$$

$$5.704.470 \text{ N} < 0,83 (300.0,8.7200) \sqrt{40}$$

$$5.704.470 \text{ N} < 9.070.930 \text{ N}$$

Maka, ketebalan *Shear Wall* mampu untuk menahan geser.

7.6.2 Menentukan Kebutuhan Baja Tulangan Vertikal dan Horizontal Minimum.

❖ Rasio Tulangan Minimum (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.1)

$$\begin{aligned} A_{cv} &= l_w \times t_w \\ &= 7200 \times 300 \\ &= 2.160.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &> 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c} \\ 5.704.470 \text{ N} &> 0,083 \cdot 2.160.000 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \\ 5.704.470 \text{ N} &> 1.133.867 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka rasio tulangan vertikal dan horizontal, ρ_v dan ρ_h lebih dari 0,0025.

❖ Cek Kebutuhan Lapis Tulangan (SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2)

$$\begin{aligned} 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f'c} &= 0,17 \cdot 2.160.000 \cdot 1 \cdot \sqrt{40} \\ &= 2.322.377 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 5.704.470 \text{ N} > 2.322.377 \text{ N}$$

Tulangan dipasang 2 lapis sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2.

❖ Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 tulangan geser harus disediakan dalam dua arah tegak lurus pada bidang dinding dengan rasio tulangan minimum untuk arah vertikal dan horizontal ialah 0,0025.

➤ Luas minimal tulangan per m' (Asl dan Ast)

$$\begin{aligned} 0,0025 A_{cv} &= 0,0025 \cdot (300 \times 1000) \\ &= 750 \text{ mm}^2/\text{m} \\ &= 0,75 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

➤ As pakai (2 lapis)

Digunakan D16

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 200,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= 2 \times \text{As} \\ &= 2 \times 200,96 \\ &= 401,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

➤ Jarak Tulangan (s)

$$\begin{aligned}
 s_{\text{pakai}} &= \frac{A_{\text{pakai}}}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{401,92 \text{ mm}^2}{0,75 \text{ mm}^2 / \text{mm}} \\
 &= 535 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} < 450 \text{ mm}$$

Jadi, dicoba menggunakan 2 lapis D16-150 dalam arah horizontal dan vertikal.

7.6.3 Kuat Geser Dinding Struktural

Berdasar SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 kuat geser nominal dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_n = A_c v \left(c \sqrt{f'_c} + t f_y \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 \frac{h_w}{l_w} &= \frac{61800}{7200} \\
 &= 8,583 > 3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w < 1,5 \\
 &= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w > 2,0 \\
 &= \text{variatif, untuk } h_w/l_w \text{ antara } 1,5-2,0
 \end{aligned}$$

Karena $h_w/l_w > 2,0$, $c = 0,17$

Rasio tulangan transversal terpasang ialah :

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{2 \times 201}{s.t} \\
 &= \frac{2 \times 201}{150.300} \\
 &= 0,00893 > \text{min OK.}
 \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung kuat geser nominal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_n &= A_{cv} \left(\phi_c \sqrt{f'_c} + \phi_t f_y \right) \\
 &= 2160000 (0,171 \cdot \sqrt{40} + 0,00893 \cdot 400) \\
 &= 10.037.896 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 0,75 \cdot 10.037.896 \\
 &= 7.528.423 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 5.704.470 \text{ N} < \phi V_n = 7.528.423 \text{ N}$$

Dinding cukup kuat untuk menahan geser.

SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4 membatasi kuat geser nominal maksimum dinding geser sebagai berikut:

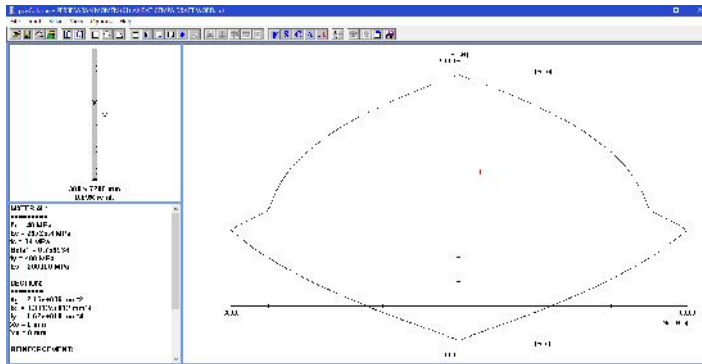
$$\begin{aligned}
 V_{n\text{-maks}} &= 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f'_c} \\
 &= 0,83 \cdot 2160000 \sqrt{40} \\
 &= 11.338.663 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil dan ditetapkan $\phi V_n = 7.528.423 \text{ N}$.

7.6.4 Perencanaan Dinding Geser Terhadap Kombinasi Aksial dan Lentur

Kuat tekan lentur dinding struktural diperoleh dengan membuat diagram interaksi dari dinding tersebut. Diagram interaksi dari dinding struktural tersebut dapat dilihat pada gambar 7.39. Dimana dari diagram tersebut nampak bahwa dinding cukup kuat dalam memikul beban yang bekerja.

($P_u = 27.700.000 \text{ N}$ dan $M_u = 4.630.000 \text{ N-m}$).



Gambar 7.40 Diagram Interaksi Dinding Struktural

7.6.5 Pemeriksaan Terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

❖ Berdasar pendekatan tegangan

$$A_g = 2.160.000 \text{ mm}^2$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$= 9,331 \times 10^{12}$$

$$y = l_w/2$$

$$= 7200/2$$

$$= 3600 \text{ mm}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, apabila :

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} > 0,2 f'_c$$

$$\frac{28000000}{2160000} + \frac{190000 \cdot 3600}{9,33 \times 10^{12}} > 0,2 f'_c$$

$$12,96 + 7,33 \times 10^{-5} > 8 \text{ Mpa}$$

$$12,967 \text{ Mpa} > 8 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktural.

❖ Berdasar pendekatan perpindahan

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6, daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas, dimana :

$$c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{u_u}{h_w} \right)}$$

Dimana $\frac{u_u}{h_w}$ tidak boleh diambil kurang dari 0,007.

Nilai u_u adalah nilai ΔM pada lantai tertinggi pada masing-masing arah.

Nilai syarat komponen batas :

$$\begin{aligned} \text{Arah y} &= u_u / h_w \\ &= 178,07/61800 \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$u_u / h_w < 0,007 \rightarrow \text{dipakai } u_u / h_w = 0,007$$

$$\begin{aligned} \frac{l_w}{600(u_u/h_w)} &= \frac{7200}{600(0,007)} \\ &= 1714 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dan output *sp column* didapatkan nilai c sebesar 2682 mm.

$$c > \frac{l_w}{600(u_u/h_w)} \rightarrow \text{dibutuhkan elemen pembatas.}$$

7.6.6 Penentuan Panjang Elemen Pembatas Khusus

Dari ketentuan diatas, panel tersebut harus diberi *boundary element*. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, *boundary element* harus dipasang secara horisontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $(c - 0,1 \ell_w)$ dan $c/2$.

$$\begin{aligned} - (c - 0,1 \ell_w) &= 2682 - (0,1 \times 7200) \\ &= 1962 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad c/2 &= 2682/2 \\
 &= 1341 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang boundary element harus dipasang minimal sejarak 1962 mm dari serat tekan terluar, digunakan jarak *special boundary element* sepanjang 2.000 mm.

7.6.7 Perhitungan Tulangan Longitudinal dan Transversal Pada Daerah *Special Boundary Element*

- ❖ Tulangan Longitudinal Daerah *Special Boundary Element*
 Sesuai hasil perhitungan diatas dilakukan pengecekan, pada diagram interaksi didapat hasil pasang 28D16 pada daerah komponen batas khusus. Rasio tulangan yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(28 \times 201 \text{ mm}^2)}{(2000 \times 300) + (150 \times 300)} \\
 &= 0,008
 \end{aligned}$$

Menurut *Iswandi, 2014* berdasarkan UBC (1997):

$$\text{hitung} = 0,008 > \text{min} = 0,005 \rightarrow \text{OK.}$$

Dengan demikian tulangan elemen batas khusus menggunakan 2 lapis D16-140.

7.6.8 Tulangan *Confinement Shear Wall*

- ❖ Tulangan *Confinement* Pada *Boundary Element*
 Digunakan *hoop* berbentuk persegi dengan D13. Spasi maksimum *hoop* ditentukan oleh yang terkecil diantara :

$$\begin{aligned}
 - \quad \frac{1}{3} \text{ dimensi terkecil} &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \\
 &= 100 \text{ mm} \\
 - \quad 6d_b &= 6(16) \\
 &= 96 \text{ mm} \\
 - \quad S_x &= 100 + \frac{350 - h_x}{3}
 \end{aligned}$$

$$= 100 + \frac{350-150}{3}$$

$$= 167 \text{ mm}$$

- S tidak boleh lebih kecil dari 100 mm.

Dari hasil perhitungan diatas, maka diambil spasi 100 mm.

Karakteristik inti penampang :

$$\begin{aligned} b_c &= \text{dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop} \\ &= 300 - [(2.40) + ((2.13)/2)] \\ &= 207 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{0,09.s.b_c.f'_c}{f_yt} \\ &= \frac{0,09.100.207.40}{400} \end{aligned}$$

$$= 186,3 \text{ mm}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= 132,665 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ pasang} &= \frac{186,3}{132,665} \\ &= 1,404 \quad 2 \text{ kaki } hoop. \end{aligned}$$

Jadi, sesuai perhitungan diatas pada daerah *special boundary element* dapat dipasang 2 kaki D13-100.

- ❖ Tulangan *Confinement* Pada Badan Penampang *Shear Wall*
Digunakan tulangan berbentuk persegi dengan D13. Spasi maksimum *hoop* ditentukan oleh yang terkecil diantara :

$$\begin{aligned} - \frac{1}{3} \text{ dimensi terkecil} &= \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ mm} \\ &= 100 \text{ mm} \\ - 6d_b &= 6(16) \\ &= 96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - S_x &= 100 + \frac{350 - h_x}{3} \\
 &= 100 + \frac{350 - 150}{3} \\
 &= 167 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- S tidak boleh lebih kecil dari 100 mm.
 Dari hasil perhitungan diatas, maka diambil spasi 100 mm.

➤ Tulangan *Confinement* Pada Arah Sejajar *Shear Wall*

Karakteristik inti penampang :

$$\begin{aligned}
 b_c &= \text{dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop} \\
 &= 300 - [(2.40) + ((2.13)/2)] \\
 &= 207 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \\
 &= \frac{0,09 \cdot 100 \cdot 207 \cdot 40}{400} \\
 &= 186,3 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= 132,665 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n \text{ pasang} &= \frac{186,3}{132,665} \\
 &= 1,404 \quad 2 \text{ kaki hoop}.
 \end{aligned}$$

Jadi, sesuai perhitungan diatas pada arah sejajar *Shear Wall*, dapat dipasang 2 kaki D13-100.

➤ Tulangan *Confinement* Pada Arah Tegak Lurus *Shear Wall*

Karakteristik inti penampang :

$$\begin{aligned}
 b_c &= \text{dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop} \\
 &= 300 - [(2.40) + ((2.13)/2)] \\
 &= 207 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f'_c}{f_{yt}} \\ &= \frac{0,09 \cdot 100 \cdot 207 \cdot 40}{400} \\ &= 186,3 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= 132,665 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n \text{ pasang} &= \frac{186,3}{132,665} \\ &= 1,404 \quad 2 \text{ kaki } hoop. \end{aligned}$$

Jadi, sesuai perhitungan diatas pada arah tegak lurus *Shear Wall*, dapat dipasang 2 kaki D13-100.

7.6.9 Panjang Penyaluran Tulangan

Berdasarkan Agus Setiawan, 2016 panjang penyaluran tulangan D16 yang dibutuhkan l_{dh} , diambil tidak kurang dari nilai terbesar berikut :

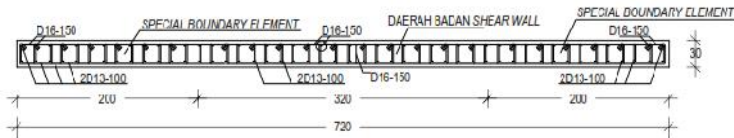
$$\begin{aligned} - 8d_b &= 8(16) \\ &= 128 \text{ mm} \\ - 150 \text{ mm} & \\ - S_x &= \frac{f_y - d_b}{5,4\sqrt{f'_c}} \\ &= \frac{400 - 16}{5,4\sqrt{40}} \\ &= 399,532 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga } l_{dh} = 400 \text{ mm.}$$

Untuk panjang penyaluran tulangan tarik:

$$\begin{aligned} l_d &= 3,5 l_{dh} \\ &= 3,5 \cdot 400 \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena jarak *special boundary element* sepanjang 2.000 mm maka panjang penyaluran tulangan tarik dapat digunakan.



Gambar 7.41 Penulangan Pada *Shear Wall 1*

7.7 Rencana Anggaran Biaya Struktur Utama Gedung

Dari hasil perancangan struktur utama gedung dapat diperoleh data-data guna menghitung rencana anggaran biaya yang difokuskan pada perhitungan volume beton dan perhitungan pembesian struktur utama gedung untuk portal arah X dan arah Y.

Perencana memperhitungkan kebutuhan volume beton dan besi dari data hasil perhitungan rancangan dan data existing yang diperoleh dan dapat dilihat pada tabel rekapitulasi sebagai berikut:

Tabel 7.6 Rekapitulasi Volume Beton dan Besi Hasil Analisa Perancangan Struktur

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
I	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL X)		
1	Pek. Kolom K1 (100x100)	80	m ³
2	Pek. Kolom K2 (80x80)	84	m ³
3	Pek. Balok Struktur (40/70)	87	m ³
4	Pek. Shear Wall (30/720)	151	m ³
II	PEKERJAAN PEMBESIAN (PERENCANAAN PORTAL X)		
1	Kolom K1 (100x100)	16.273	kg
2	Kolom K2 (80x80)	21.300	kg
3	Balok Struktur (40/70)	18.435	kg
4	Shear Wall(30/7200)	27.896	kg
III	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL Y)		
1	Pek. Kolom K1 (100x100)	120	m ³
2	Pek. Kolom K2 (80x80)	168	m ³
3	Pek. Balok Struktur (40/70)	123	m ³
IV	PEKERJAAN PEMBESIAN (PERENCANAAN PORTAL Y)		
1	Kolom K1 (100x100)	24.410	kg
2	Kolom K2 (80x80)	42.600	kg
3	Balok Struktur (40/70)	25.690	kg

Tabel 7.7 Rekapitulasi Volume Beton dan Besi Data Existing

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
I	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL X)		
1	Pek. Kolom K1 (100x100)	120	m ³
2	Pek. Kolom K2 (80x80)	142	m ³
3	Pek. Balok Struktur (35/75)	106	m ³
II	PEKERJAAN PEMBESIAN (EXISTING PORTAL X)		
1	Kolom K1 (100x100)	26.909	kg
2	Kolom K2 (80x80)	40.242	kg
3	Balok Struktur (35/75)	33.166	kg
III	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL Y)		
1	Pek. Kolom K1 (100x100)	120	m ³
2	Pek. Kolom K2 (80x80)	168	m ³
3	Pek. Balok Struktur (35/75)	115	m ³
IV	PEKERJAAN PEMBESIAN (EXISTING PORTAL Y)		
1	Kolom K1 (100x100)	26.909	kg
2	Kolom K2 (80x80)	47.601	kg
3	Balok Struktur (35/75)	35.940	kg

Tabel 7.8 Total Rekapitulasi Volume Beton dan Besi

TOTAL VOLUME PEKERJAAN			
NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
1	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL X)	251	m ³
2	PEKERJAAN BETON SHEAR WALL	151	m ³
3	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL Y)	410	m ³
4	PEKERJAAN PEMBESIAN (PERENCANAAN PORTAL X)	56.008	kg
5	PEKERJAAN PEMBESIAN SHEAR WALL	27.896	kg
6	PEKERJAAN PEMBESIAN (PERENCANAAN PORTAL Y)	92.700	kg
7	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL X)	368	m ³
8	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL Y)	403	m ³
9	PEKERJAAN PEMBESIAN (EXISTING PORTAL X)	100.317	kg
10	PEKERJAAN PEMBESIAN (EXISTING PORTAL Y)	110.450	kg

Dari hasil analisa perhitungan diatas diperoleh rasio untuk kebutuhan tulangan terhadap beton sebagai berikut:

❖ Kebutuhan rasio tulangan hasil perancangan

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Portal X} &= \frac{Vol.Besi}{Vol.Beton} \\
 &= \frac{56008}{251}
 \end{aligned}$$

$$= 223 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Portal Y} &= \frac{Vol.Besi}{Vol.Beton} \\
 &= \frac{92700}{410}
 \end{aligned}$$

$$= 226 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Dinding Geser} &= \frac{Vol.Besi}{Vol.Beton} \\
 &= \frac{27896}{151}
 \end{aligned}$$

$$= 184 \text{ kg/m}^3$$

❖ Kebutuhan tulangan data existing

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Portal X} &= \frac{Vol.Besi}{Vol.Beton} \\
 &= \frac{100317}{368} \\
 &= 272 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{➤ Portal Y} &= \frac{Vol.Besi}{Vol.Beton} \\
 &= \frac{110450}{403} \\
 &= 274 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa perhitungan volume diatas dapat diperoleh biaya pekerjaan beton dan pembesian sebagai berikut:

Tabel 7.9 RAB Hasil Analisa Perancangan Struktur

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
I	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL X)				
1	Pak. Kolom K1 (100x100)	80	m ³	Rp 723.428,75	Rp 57.874.300,00
2	Pak. Kolom K2 (50x80)	84	m ³	Rp 723.428,75	Rp 60.696.565,24
3	Pak. Balok Struktur (40/70)	87	m ³	Rp 723.428,75	Rp 62.874.639,52
4	Pak. Shear Wall (30/720)	151	m ³	Rp 723.428,75	Rp 109.065.905,78
				JUMLAH	Rp 280.517.411,14
II	PEKERJAAN PEMESIAN (PERENCANAAN PORTAL X)				
1	Kolom K1 (100x100)	16.273	kg	Rp 20.790,23	Rp 338.326.498,58
2	Kolom K2 (30x80)	21.300	kg	Rp 20.790,23	Rp 442.832.223,41
3	Balok Struktur (40/70)	18.465	kg	Rp 20.790,23	Rp 383.258.552,39
4	Shear Wall (30/720)	27.896	kg	Rp 20.790,23	Rp 579.965.138,67
				JUMLAH	Rp 1.744.386.693,05
III	PEKERJAAN BETON (PERENCANAAN PORTAL Y)				
1	Pak. Kolom K1 (100x100)	120	m ³	Rp 723.428,75	Rp 86.811.450,00
2	Pak. Kolom K2 (50x80)	168	m ³	Rp 723.428,75	Rp 121.397.131,68
3	Pak. Balok Struktur (40/70)	123	m ³	Rp 723.428,75	Rp 88.680.789,39
				JUMLAH	Rp 286.889.371,07
IV	PEKERJAAN PEMESIAN (PERENCANAAN PORTAL Y)				
1	Kolom K1 (100x100)	24.410	kg	Rp 20.790,23	Rp 507.485.747,37
2	Kolom K2 (30x80)	42.600	kg	Rp 20.790,23	Rp 885.666.446,82
3	Balok Struktur (40/70)	23.640	kg	Rp 20.790,23	Rp 491.400.118,49
				JUMLAH	Rp 1.927.556.313,58

Tabel 7.10 RAB Data Existing

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN	HARGA SATUAN (Rp)	JUMLAH HARGA (Rp)
I	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL A)				
1	Pak. Kolom K1 (100x100)	120,00	m ³	Rp 723.423,75	Rp 86.811.450,00
2	Pak. Kolom K2 (80x80)	141,39	m ³	Rp 723.423,75	Rp 102.645.838,48
3	Pak. Balok Struktur (35/75)	106,47	m ³	Rp 723.423,75	Rp 77.023.459,01
				JUMLAH	Rp 266.480.767,49
II	PEKERJAAN PEMESIAN (EXISTING PORTAL X)				
1	Kolom K1 (100x100)	26908,72	kg	Rp 20.790,28	Rp 559.439.755,23
2	Kolom K2 (80x80)	40241,12	kg	Rp 20.790,28	Rp 836.631.123,83
3	Balok Struktur (35/75)	33166,33	kg	Rp 20.790,28	Rp 689.537.196,29
				JUMLAH	Rp 2.085.614.075,34
III	PEKERJAAN BETON (EXISTING PORTAL V)				
1	Pak. Kolom K1 (100x100)	120,00	m ³	Rp 723.423,75	Rp 86.811.450,00
2	Pak. Kolom K2 (80x80)	167,31	m ³	Rp 723.423,75	Rp 121.597.131,68
3	Pak. Balok Struktur (35/75)	114,32	m ³	Rp 723.423,75	Rp 83.138.240,52
				JUMLAH	Rp 291.546.822,20
IV	PEKERJAAN PEMESIAN (EXISTING PORTAL V)				
1	Kolom K1 (100x100)	26908,72	kg	Rp 20.790,28	Rp 559.439.755,23
2	Kolom K2 (80x80)	47691,21	kg	Rp 20.790,28	Rp 989.644.233,78
3	Balok Struktur (35/75)	39410,47	kg	Rp 20.790,28	Rp 747.712.188,40
				JUMLAH	Rp 2.296.296.177,41

7.7.1 Analisa Perbandingan Pekerjaan Pemesian

Dalam keseluruhan struktur pada portal jumlah kebutuhan tulangan dari hasil perencanaan dengan sistem ganda mengalami pengurangan yaitu sebesar :

➤ Portal X (dengan dinding geser)

Struktur utama perencanaan : 83.904 kg
 Struktur utama data existing : 100.317 kg
 Presentase pengurangan : 16,361%
 Penghematan Biaya : Rp 341.227.382,00

➤ Portal Y (tanpa dinding geser)

Struktur utama perencanaan : 92.700 kg
 Struktur utama data existing : 110.450 kg
 Presentase pengurangan : 16,071%
 Penghematan Biaya : Rp 369.039.864,00

BAB VIII PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Grafik respon spektrum:

- a. Grafik respon spektrum yang digunakan oleh penulis dalam analisa struktur ialah dari hasil analisa data tanah yang diperoleh.
- b. Pemilihan grafik respon spektrum didasarkan pada nilai spektral percepatan (S_a) terbesar antara hasil analisa data tanah yang diperoleh penulis dengan analisa data yang telah disediakan pada website PUSKIM.

2. Batasan periode getar alami fundamental (T):

- a. Pada perencanaan telah dimodelkan struktur gedung dengan rangka terbuka (*open frame*), namun struktur gedung masih belum stabil dalam menahan beban gempa yang terjadi, didasarkan pada nilai T sebagai berikut :

$$\begin{array}{rclclcl} T_{min} & < & T_{sap} & < & T_{max} \\ 1,907 & < & 3,342 & < & 2,607 \end{array}$$

T analisa struktur melebihi T_{max} . Oleh karena itu, sebagai solusi dalam analisa struktur gedung menggunakan sistem ganda.

- b. Dari hasil analisa dengan menggunakan sistem ganda struktur gedung telah memenuhi dalam menahan gaya gempa yang terjadi, didasarkan pada nilai T sebagai berikut:

Rangka terbuka :

$$\begin{array}{rclclcl} T_{min} & < & T_{sap} & < & T_{max} \\ 2,004 & < & 2,209 & < & 2,805 \end{array}$$

Dinding Geser :

$$\begin{array}{rclclcl} T_{min} & < & T_{sap} & < & T_{max} \\ 1,121 & < & 1,477 & < & 1,569 \end{array}$$

Struktur gedung telah stabil dalam menahan gaya gempa yang terjadi dengan nilai T hasil analisa tidak melebihi dari nilai T maksimum yang diijinkan dalam perencanaan.

3. Hasil perancangan struktur atas bangunan dengan sistem ganda:
 - a. Pelat Lantai didesain sebagai pelat dua arah dengan hasil analisa penulangan :

Lapangan dan tumpuan arah X	: Ø10-125
Lapangan dan tumpuan arah Y	: Ø10-125
Tulangan bagi atau susut	: Ø8-200
 - b. Pelat Tangga didesain sebagai pelat satu arah dengan hasil penulangan :

Tumpuan	: Ø12-150
Lapangan	: Ø12-150
Tulangan bagi atau susut	: Ø8-200
 - c. Balok Induk (B1) dengan penulangan :

Tumpuan kiri atas	: 8-D22
Tumpuan kiri bawah	: 5-D22
Lapangan atas	: 3-D22
Lapangan bawah	: 4-D22
Tumpuan kanan atas	: 6-D22
Tumpuan kanan bawah	: 5-D22
Tulangan torsi	: 2-D19
Geser tumpuan kiri	: 3 kaki D13-100
Geser lapangan	: 3 kaki D13-150
Geser tumpuan kanan	: 3 kaki D13-100
 - d. Kolom (K1) dengan penulangan:

Tulangan utama	: 36-D22
Geser tumpuan	: 4 kaki D13-100
Geser lapangan	: 4 kaki D13-125
 - e. Hubungan Balok Kolom dengan penulangan:

Tulangan <i>Confinement</i>	: 4 kaki D13-150
-----------------------------	------------------

- f. Dinding geser
 - Tulangan Utama Horizontal : 2 lapis D16-150
 - Tulangan Utama Vertikal : 2 lapis D16-150
 - Tulangan Pada Elemen Batas : 2 lapis D16-140
 - Tulangan Confinement : 2 kaki D13-150
- 4. Perhitungan rancangan anggaran biaya struktur gedung:
 - a. Kebutuhan tulangan pada struktur utama gedung untuk hasil analisa perancangan sebesar 224 kg/m^3 , untuk dinding geser sebesar 184 kg/m^3 , serta untuk data eksisting sebesar 273 kg/m^3 .
 - b. Pada pekerjaan pembesian elemen struktur secara keseluruhan terjadi penghematan sebesar 16,361% untuk portal X yang terdapat dinding geser dan penghematan pada pekerjaan besi pula pada portal Y sebesar 16,071%.
- 5. Dari hasil analisa perancangan didapat bahwa fungsi dinding geser telah mampu dan efektif dalam menahan beban lateral yang terjadi.
- 6. Faktor keamanan dan keselamatan menjadi faktor utama dalam mendesain struktur gedung tinggi tahan gempa.

8.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan penulis dari hasil perencanaan struktur gedung antara lain sebagai berikut :

1. Dalam mendesain suatu struktur bangunan gedung tahan gempa hal utama yang harus diperhatikan oleh perencana ialah fungsi bangunan yang akan direncanakan.
2. Dalam mendesain suatu struktur bangunan tingkat tinggi, kekuatan, keamanan, serta kemampuan layan bangunan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

- Prof. Dr. Ir. Imam Satyarno, M.E, dkk. 2011. Belajar SAP2000 Seri 1. Yogyakarta: Zamil Publishing
- Prof. Dr. Ir. Imam Satyarno, M.E, dkk. 2012. Belajar SAP2000 Seri 2 Analisis Gempa. Yogyakarta: Zamil Publishing
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013). Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847-2013). Jakarta: BSN
- Kementrian Pekerjaan umum. 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Jakarta: KPU
- Prof. Ir. Bambang Budiono, M.E., PhD dan Lucky Supriatna, ST. 2011. Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x. Bandung: ITB Press
- Agus Setiawan, ST., MT. 2016. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Jakarta: Erlangga
- Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB Press

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

LEMBAR REVISI

Ir. Sukobar, M.T.

A. Perhitungan Panjang Sambungan Lewatan Pada Kolom (Overlap Bar)

Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B. Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah $1,3l_d$ (SNI-2847:2012 pasal 12.15.1). Besarnya l_d ditetapkan berdasarkan SNI:2847:2013 pasal 12.2.3 dengan menggunakan nilai $K_{tr} = 0$ untuk penyederhanaan desain.

$$\begin{aligned} L_d &= \left(\frac{f_y}{1,1 \sqrt{f'_c}} \frac{t_{e s}}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\ &= \left(\frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{40}} \frac{1,1 \cdot 1}{(2,5)} \right) 22 \\ &= 505 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,3 L_d &= 1,3 \times 505 \text{ mm} \\ &= 658 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Digunakan sambungan lewatan sepanjang 700 mm.

Pada perhitungan sambungan lewatan ini yang menentukan pada gambar standar detail kolom yang dapat dilihat pada lampiran gambar struktur gedung. Dengan menggunakan panjang sambungan lewatan sebesar 1000 mm yang akan diterapkan pada perhitungan RAB pekerjaan pembesian.

B. Penyajian Penghematan Tulangan Pada Analisa Perbandingan Pekerjaan Pembesian

Dalam keseluruhan struktur pada portal jumlah kebutuhan tulangan dari hasil perencanaan dengan sistem ganda mengalami pengurangan yaitu sebesar :

➤ Portal X (dengan dinding geser)

Struktur utama perencanaan	: 83.904 kg
Struktur utama data existing	: 100.317 kg
Presentase penghematan	: 16,361%
Penghematan Biaya	: Rp 341.227.382,00












➤ Portal Y (tanpa dinding geser)

Struktur utama perencanaan	: 92.700 kg
Struktur utama data existing	: 110.450 kg
Presentase penghematan	: 16,071%
Penghematan biaya	: Rp 369.039.864,00

LAMPIRAN A

DATA TANAH PROYEK

A.1 Data Bor Log

		<div> KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL POLITEKNIK NEGERI MALANG LABORATORIUM MEKANIKA TANAH Jl. Veteran PO BOX 94 Malang 65145 Telp. (0341) 575781 fax. (0341) 575750 email : mektra.pnmalang@gmail.com - mektra.pnmalang@yahoo.com</div>														
Proyek	: Pembangunan Gedung P100 Universitas Swadaya Malang										Tgl. pengisian		: 05/02/2011			
Lokasi	: J. Sutomo - Bala sm. 5, Kandang Malang										Diag. oleh		: Ns			
Tinggi/Gedung	: D5 - D1 - D3 / 60,00 s.d. 20,00 m										Dibaca/dit. oleh		: Ns			
BORING LOG & N-SPT																
Depth (m)	Bor Log	Soil Description	STANDARD PENETRATION TEST			N60/SPT			Properties		Atterberg		Shear strength		Consolidation	
			1	2	3	4	5	6	W _L %	P _L %	LL _{PI} %	IL _{PI} %	c kg/cm ²	φ _o deg	e _o	C _u
0.0		Fill and clay, grey, medium organic content, little sand	27.00	37.00	37.00	5	5	5								
1.0									61.80	14.50	2.45	68.00	72.00	16.91	57.00	12.00
2.0									55.40	1.72	2.41	68.00	33.41	0.00	90.00	1.700
3.0		Fill and clay, dark brown, little to some sand, trace gravel, medium	37.00	37.00	47.00	7	7	7	49.00	1.00	2.37	55.40	25.01	0.400	0	1.100
4.0									60.10	17.10	2.40	70.00	74.00	16.00	60.00	16.00
5.0			17.00	37.00	37.00	5	5	5	49.00	1.00	2.37	55.40	25.01	0.400	0	1.100
6.0		Fill and clay, brown, little sand														
7.0		Fill and sand, brown, trace clay trace gravel, medium	37.00	17.00	47.00	13	13	13	60.10	17.10	2.40	70.00	74.00	16.00	60.00	16.00
8.0																
9.0		Sand and silt, brownish grey, trace clay, trace gravel, very dense	60.10	47.00	73	50			> 50							
10.0																
11.0			60.10			50			34.00	1.00	2.00	44.00	20.00	0.200	40.00	0.700
12.0									> 50							
13.0		Sand and silt, dark grey, trace clay, trace gravel, very dense	37.00	20.10	20.10	50			> 50							
14.0																
15.0			77.00	127.00	197.00	31			64.00	1.72	2.01	54.4	20.00	0.000	0	1.000
16.0																
17.0		Sand and silt, grey, little gravel, dense to very dense	117.00	207.00	247.00	50			> 50							
18.0																
19.0			60.10	60.10	42	50			> 50							
20.0																
21.0			60.10	207.00	127	50			24.00	2.15	2.00	20.00	22.43	0.200	0	0.470
22.0		Sand and silt, dark grey, little clay, very dense							> 50							
23.0			47.00	57.00	71.00	12										
24.0		Sand and silt, dark grey, little clay, very dense														
25.0		End of boring	37.00	37.00	47.00	7			61.00	1.01	2.00	40.00	23.00	0.21	0.27	1.210
26.0																
Catatan :		<input checked="" type="checkbox"/> Core Sample <input checked="" type="checkbox"/> SPT														
				0 to 10 % = Brown 10 to 30 % = Light 30 to 50 % = Green 50 to 100 % = Red												
				MAY - 4.0 m												
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - POLITEKNIK NEGERI MALANG, JL. VETERAN PO. BOX 94																

LAMPIRAN B

BROSUR MATERIAL BANGUNAN

B.1 Dinding Bata Ringan *Citicon*

	
Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon	
Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon	
Panjang, L (mm)	: 500
Tinggi, H (mm)	: 200 ; 400
Tebal, T (mm)	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200
Berat, jenis kering, (ρ)	: 550 kg/m ³
Kerat, jenis normal, (ρ)	: 900 kg/m ³
Kuat tekan, (σ)	: ≥ 4.0 N/m ²
Konduktivitas termis, (λ)	: 0.14 w/mk
Tebal	0.00 75 100 125 150 175 200
Luas Dinding / m ²	m ² 13.33 10.00 8.00 6.67 5.56 4.76
bat / m ²	Bata 111.11 88.89 70.37 59.26 49.38 41.67

B.2 Spesi Dinding dan Keramik

Perata Lantai MU 440



Semen instan untuk pekerjaan perata lantai, menambah ketinggian lantai atau sebagai lantai kerja sebelum pemasangan keramik lantai.

Keunggulan:

- Mampu menahan beban pada permukaan lantai.
- Sangat baik digunakan sebagai dasar lantai kerja pemosisi dan keramik lantai.
- Dapat diaplikasikan di atas permukaan lantai ber anyang terlebih dahulu, diaplikasi dengan Mortar & Beton bertulangan 400kg atau M-4 500 (Beton & Mortar & Semen bertulangan 750kg).
- Dapat juga diaplikasikan di atas permukaan: tanah yang sudah dipadatkan.
- Praktis dan dapat diandalkan.
- Dapat menggunakan 5 to System untuk kualitas yang lebih baik.


Isi Kemasan:
40 kg atau 50 Kg

Kebutuhan Air:
6.5 - 7.0 liter / sak 50 kg

Daya Sebar:
± 1.2 m² / sak 40 kg / tebal aplikasi 20 mm
± 1.5 m² / sak 50 kg / tebal aplikasi 20 mm





B.3 Keramik *Homogenous Tile*



*The Beauty
With Strength*

*Acoustic tile is a way to add to the sound
and the creation of the tile is 200%*

PACKING LIST & TECHNICAL SPECIFICATION

Packing List

Size (mm)	Thickness (mm)	Per Piece		Per Carton		Per Pallet		Per Container						
		m ²	kg	pieces	m ²	kg	cartons	pieces	m ²	kg	pallets	pieces	m ²	kg
300 x 300	8.5 ± 0.2	0.0900	1.59	16	1.44	25.44	72	1152	103.68	1861.68	~ 212	13824	1244.16	22340.16

B.4 Floor Hardener


Sikafloor Chapdur®

Coloured Mineral Dry shake Floor Hardener

</

B.5 Tandon

Peruntukan Bangunan	Pemakaian Air Bersih	Satuan
Rumah Mewah	250	Liter / penghuni / hari
Rumah Biasa	150	Liter / penghuni / hari
Apartment	250	Liter / penghuni / hari
Rumah Susun	100	Liter / penghuni / hari
Asrama	120	Liter / penghuni / hari
Klinik / Puskesmas	3	Liter / pengunjung / hari
Rumah sakit Mewah	1000	Liter / tempat tidur pasien / hari
Rumah Sakit Menengah	750	
Rumah Sakit Umum	425	
Sekolah Dasar	40	Liter / siswa / hari
SLTP	50	
SLTA	80	
Perguruan Tinggi	80	
Rumah Toko / Rumah Kantor	100	Liter / penghuni & pegawai / hari



Type	TS 1400
Engine	16,000 Bv
Water Pumping	15 - 20 min
Flow	3 m3/
Water & Water	-
Water Storage	3 m3/
Water Capacity	
Water Pump	2 m3/
Accessories	0to Level
Price	817.9K
Water Pumping	1p. 41,800.000
Price	455. Kp
Water Pumping	1p. 10,900.000

B.6 Generator Set (Genset)

CUMMINS GENERATOR SET 1275KV_a

generator set

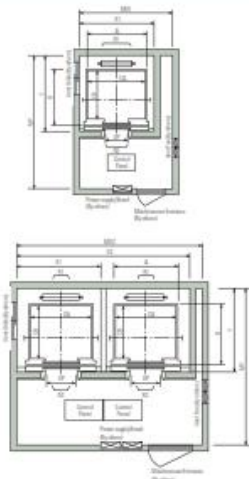
Tersedia generator set merk Cummins 1125KV_a dengan spesifikasi sebagai berikut ;

Standby Power : 1275/1160KV_a – 1020/928 Kw
 Model Mesin : KTA 38-G4
 Banyak Silinder: 12
 Displacement (L) : 38 liter
 Kapasitas Oli : 135 liter
 Kapasitas Pendingin : 265 liter
 Dimensi Generator (L mm x W mm x H mm) : 5300 mm x 1950 mm x 2500 mm
 Berat (kg) : 8500 kg

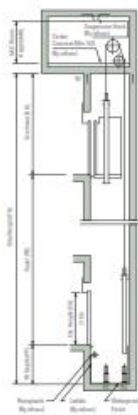
B.7 Lift

Layout Plan - LUXEN(Gearless Elevators) 1~2.5m/sec | Center open

Plan of Hoistway & Machine Room



Section of Hoistway



Standard Dimensions & Reactions

Manufacturer Standard

Manufacturer Standard															(Unit: mm)			
Speed (m/sec)	Capacity		Opening type	Clear Opening OP	Car		Hoistway Size			Machine Room Size			M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)			
	Persons	kg			Internal CA × CB	External A × B	1Car X1	2Cars X2	Depth Y	1Car MX1	2Cars MX2	Depth MY	R1	R2	R3	R4		
1.0	6	450	2 Panel Center Open	800	1400 × 850	1440 × 1005	1800	3700	1450	2000	4000	3200	3600	2000	5400	4500		
	8	550		800	1400 × 1030	1440 × 1185	1800	3700	1650	2000	4000	3400	4050	2250	6000	4900		
	9	600		800	1400 × 1130	1440 × 1285	1800	3700	1750	2000	4000	3500	4100	2450	6300	5100		
	10	700		800	1400 × 1250	1440 × 1405	1800	3700	1850	2000	4000	3600	4200	2700	6800	5400		
	11	750		800	1400 × 1350	1440 × 1505	1800	3700	1950	2000	4000	3700	4550	2800	7100	5600		
	13	900		900	1600 × 1350	1660 × 1505	2050	4200	1950	2300	4400	3750	5100	3750	8100	6300		
1.5	15	1000		900	1600 × 1500	1660 × 1655	2050	4200	2100	2300	4400	3850	5450	4300	8600	6600		
	17	1150		1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2350	4800	2200	2600	4900	3900	6600	5100	11000	8700		
	20	1350		1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800	7800	6000	12200	9500		
2.0	24	1600		1100	2000 × 1700	1900 × 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200	8500	6800	13600	10400		
	13	900	1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000	12030	6650	9000	7500			
	15	1000	1100	2000 × 1750	2100 × 1920	2550	5200	2450	2900	5400	4300	12800	6950	9400	8000			
	17	1150	1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200	13080	7150	11000	8700			
	20	1350	1100	1600 × 1350	1700 × 1520	2250	4800	2100	2550	4800	4250	14350	7650	12200	9500			
	24	1600	1100	1600 × 1500	1700 × 1670	2250	4800	2250	2550	4800	4450	15100	8100	13600	10400			
2.5	20	1350	2 Panel Center Open	1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450						
	24	1600		1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2550	5200	2050	2800	5250	3800	7800	6000	12200	9500		
	24	1600		1100	2000 × 1700	1900 × 1870	2350	4800	2400	2600	4900	4200	8500	6800	13600	10400		
	24	1600		1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	2200	2800	5250	4000	12030	6650	9000	7500		
2.5	20	1350	2 Panel Center Open	1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2700	5500	2300	3000	5650	4200	13080	7150	11000	8700		
	24	1600		1100	1600 × 1350	1700 × 1520	2250	4800	2100	2550	4800	4250	14350	7650	12200	9500		
	24	1600		1100	1600 × 1500	1700 × 1670	2250	4800	2250	2550	4800	4450	15100	8100	13600	10400		
	24	1600		1100	1800 × 1500	1900 × 1670	2450	5000	2250	2750	5000	4450						

LAMPIRAN C

REKAPITULASI HASIL ANALISA PERHITUNGAN PELAT LANTAI

C.1 Data Perencanaan

Lebar Balok Arah X	400,000	300,000	Ukuran Balok 40/70 dan 30/50
Lebar Balok Arah Y	400,000	300,000	Ukuran Balok 40/70 dan 30/50
Ly	4800,000	mm	Lantai 13 grid (E-F;2-3)
Lx	4200,000	mm	Lantai 13 grid (E-F;2-3)
Ln	4450,000	mm	
Sn	3850,000	mm	
β	1,156	2 arah	$Ln/Sn < 2$, maka tipe pelat 2 arah
fc'	30,000	Mpa	
fy	240,000	Mpa	
Tulangan X	10,000	mm	
Tulangan Y	10,000	mm	
p	20,000	mm	pasal 7.7.1
h	120,000	mm	
dx	95,000	mm	[Tebal rencana - cover - 1/2 Tul. arah x]
dy	85,000	mm	[Tebal rencana - cover - Tul. arah x - 1/2 Tul. arah y]
b	1000,000	mm	
ϕ	0,80		pasal 9.3.2.7
β	0,84		[$0.85 - 0.05 \cdot ((fc' - 28)/7)$] [Pasal 10.2.7.3]
λ	1,000		Beton normal [pasal 8.6.1]

C.2 Gaya-Gaya Dalam Pelat Lantai

Jenis Panel	Arah X	Arah Y
S1	672,2	595,21
S2	677,09	739,76
S3	317,37	232,78
S4	298,69	277,86
S5	651,97	714,58
S6	265,61	551,39
S7	399,3	400,5
S8	403,51	410,28
S9	1545,95	1410,77
S10	300	249,7

C.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai

Jenis Panel	Ukuran	Ly/Lx	Tipe Pelat	Bagian	Momen dari SAP	Mn	m	Rn	pb	pmax	pmin	phitung	ppakai	As	As Pakai	
					kg.m/m	N.mm/m	Mpa	Mpa						(mm ²)	Ø	mm ²
1)		1,00	2 arah	Lx	672,2	8.402.500	9,41176	0,93102	0,06342	0,04757	0,00583	0,00395	0,00583	554	10 - 125	628
	3600			Ly	595,21	7.440.125	9,41176	1,02978			0,00583	0,00438	0,00583	496	10 - 125	628
	3600			Tx	672,2	8.402.500	9,41176	0,93102			0,00583	0,00395	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	595,21	7.440.125	9,41176	1,02978			0,00583	0,00438	0,00583	496	10 - 125	628
2)		1,33	2 arah	Lx	677,09	8.463.625	9,41176	0,93780	0,06342	0,04757	0,00583	0,00398	0,00583	554	10 - 125	628
	4800			Ly	739,76	9.247.000	9,41176	1,27986			0,00583	0,00547	0,00583	496	10 - 125	628
	3600			Tx	677,09	8.463.625	9,41176	0,93780			0,00583	0,00398	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	739,76	9.247.000	9,41176	1,27986			0,00583	0,00547	0,00583	496	10 - 125	628
3)		1,17	2 arah	Lx	317,37	3.967.125	9,41176	0,43957	0,06342	0,04757	0,00583	0,00185	0,00583	554	10 - 125	628
	4200			Ly	232,78	2.909.750	9,41176	0,40273			0,00583	0,00169	0,00583	496	10 - 125	628
	3600			Tx	317,37	3.967.125	9,41176	0,43957			0,00583	0,00185	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	232,78	2.909.750	9,41176	0,40273			0,00583	0,00169	0,00583	496	10 - 125	628
4)		1,75	2 arah	Lx	298,69	3.733.625	9,41176	0,41370	0,06342	0,04757	0,00583	0,00174	0,00583	554	10 - 125	628
	4200			Ly	277,86	3.473.250	9,41176	0,48073			0,00583	0,00202	0,00583	496	10 - 125	628
	2400			Tx	298,69	3.733.625	9,41176	0,41370			0,00583	0,00174	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	277,86	3.473.250	9,41176	0,48073			0,00583	0,00202	0,00583	496	10 - 125	628
5)		1,50	2 arah	Lx	651,97	8.149.625	9,41176	0,90301	0,06342	0,04757	0,00583	0,00383	0,00583	554	10 - 125	628
	3600			Ly	714,58	8.932.250	9,41176	1,23630			0,00583	0,00528	0,00583	496	10 - 125	628
	2400			Tx	651,97	8.149.625	9,41176	0,90301			0,00583	0,00383	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	714,58	8.932.250	9,41176	1,23630			0,00583	0,00528	0,00583	496	10 - 125	628

(Lanjutan C.3)

6)		1,25	2 arah	Lx	265,61	3.320.125	9,41176	0,36788	0,06342	0,04757	0,00583	0,00154	0,00583	554	10 - 125	628
	3000			Ly	551,39	6.892.375	9,41176	0,95396			0,00583	0,00405	0,00583	496	10 - 125	628
	2400			Tx	265,61	3.320.125	9,41176	0,36788			0,00583	0,00154	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	551,39	6.892.375	9,41176	0,95396			0,00583	0,00405	0,00583	496	10 - 125	628
7)		1,00	2 arah	Lx	399,3	4.991.250	9,41176	0,55305	0,06342	0,04757	0,00583	0,00233	0,00583	554	10 - 125	628
	4800			Ly	400,5	5.006.250	9,41176	0,69291			0,00583	0,00293	0,00583	496	10 - 125	628
	4800			Tx	399,3	4.991.250	9,41176	0,55305			0,00583	0,00233	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	400,5	5.006.250	9,41176	0,69291			0,00583	0,00293	0,00583	496	10 - 125	628
8)		2,00	2 arah	Lx	403,51	5.043.875	9,41176	0,55888	0,06342	0,04757	0,00583	0,00235	0,00583	554	10 - 125	628
	4800			Ly	410,28	5.128.500	9,41176	0,70983			0,00583	0,00300	0,00583	496	10 - 125	628
	2400			Tx	403,51	5.043.875	9,41176	0,55888			0,00583	0,00235	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	410,28	5.128.500	9,41176	0,70983			0,00583	0,00300	0,00583	496	10 - 125	628
9)		1,00	2 arah	Lx	1545,95	19.324.375	9,41176	2,14120	0,06342	0,04757	0,00583	0,00933	0,00933	886	12 - 125	905
	2400			Ly	1410,77	17.634.625	9,41176	2,44078			0,00583	0,01071	0,01071	910	12 - 125	905
	2400			Tx	1545,95	19.324.375	9,41176	2,14120			0,00583	0,00933	0,00933	886	12 - 125	905
				Ty	1410,77	17.634.625	9,41176	2,44078			0,00583	0,01071	0,01071	910	12 - 125	905
10)		1,14	2 arah	Lx	300	3.750.000	9,41176	0,41551	0,06342	0,04757	0,00583	0,00175	0,00583	554	10 - 125	628
	4800			Ly	250	3.121.250	9,41176	0,43201			0,00583	0,00182	0,00583	496	10 - 125	628
	4200			Tx	300	3.750.000	9,41176	0,41551			0,00583	0,00175	0,00583	554	10 - 125	628
				Ty	250	3.121.250	9,41176	0,43201			0,00583	0,00182	0,00583	496	10 - 125	628

LAMPIRAN D

REKAPITULASI HASIL ANALISA PERHITUNGAN BALOK

D.1 Data Perencanaan

Lantai	fc'	fy-lentur	fy-geser	Es	Ec	Ølentur	Øgeser	n	Øtorsi	As-lentur	As-geser	As-torsi
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	mm	mm	kaki	mm	mm ²	mm ²	mm ²
1	30	400	400	200.000	25.743	22	13	2	19	379,94	265,34	283,39
2	30	400	400	200.000	25.743	22	13	2	19	379,94	265,34	283,39
3	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
4	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
5	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
6	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
7	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
8	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
9	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
10	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
11	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
12	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
13	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39
14	30	400	400	200.000	25.743	22	13	3	19	379,94	398,01	283,39

(Lanjutan D.1)

[illegible]

D.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Portal X

✓ Balok as AB;2

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	5-D22	2-D22	3-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	7-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	9-D22	5-D22	4-D22	4-D22	7-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	9-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

✓ Balok as CD;2

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	5-D22	2-D22	3-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	5-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	6-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	9-D22	5-D22	4-D22	4-D22	7-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	7-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	11-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	11-D22	7-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	12-D22	7-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	11-D22	7-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	12-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	11-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	12-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	11-D22	6-D22	4-D22	4-D22	8-D22	7-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
14	10-D22	6-D22	4-D22	4-D22	7-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

(Lanjutan D.2)

✓ Balok as DE;2

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	4-D22	2-D22	3-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	5-D22	3-D22	3-D22	4-D22	5-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	7-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	7-D22	6-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	8-D22	6-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	7-D22	6-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
14	6-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

✓ Balok as EF;2

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	4-D22	2-D22	3-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	5-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	6-D22	6-D22	3-D22	4-D22	5-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	7-D22	6-D22	3-D22	4-D22	5-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	5-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	5-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	5-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	5-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	5-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	4-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	6-D22	7-D22	3-D22	4-D22	4-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	5-D22	6-D22	3-D22	4-D22	5-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	5-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	3-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

D.3 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Portal Y

✓ Balok as D;1.2

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Tumpuan Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	4-D22	2-D22	3-D22	4-D22	5-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	7-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	8-D22	5-D22	4-D22	4-D22	7-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	9-D22	6-D22	4-D22	4-D22	7-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	7-D22	6-D22	4-D22	4-D22	9-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	7-D22	6-D22	4-D22	4-D22	9-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	7-D22	6-D22	4-D22	4-D22	9-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	6-D22	6-D22	4-D22	4-D22	9-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	6-D22	6-D22	4-D22	4-D22	9-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	5-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	5-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	5-D22	5-D22	4-D22	4-D22	7-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

✓ Balok as D;2.3

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	3-D22	2-D22	1-D22	3-D22	3-D22	2-D22	0	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	6-D22	5-D22	3-D22	4-D22	6-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	8-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	7-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	7-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4-D22	2-D22	2-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

✓ Balok as D;3.4

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	3-D22	2-D22	1-D22	3-D22	3-D22	2-D22	0	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	8-D22	6-D22	3-D22	4-D22	8-D22	6-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	7-D22	4-D22	3-D22	4-D22	7-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4-D22	2-D22	2-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

✓ Balok as D;4.5

Lantai	Tumpuan Kiri		Lapangan		Kanan		Torsi	Tulangan Sengkang (Geser)		
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Kiri (Sendi Plastis)	Lapangan (Ujung Sendi Plastis)	Kanan (Sendi Plastis)
1	5-D22	2-D22	3-D22	5-D22	5-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
2	6-D22	4-D22	3-D22	4-D22	6-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
3	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	4-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
4	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
5	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
6	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
7	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
8	8-D22	5-D22	3-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
9	8-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
10	7-D22	5-D22	4-D22	4-D22	8-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
11	7-D22	5-D22	3-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
12	7-D22	5-D22	4-D22	4-D22	7-D22	5-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4-D22	3-D22	2-D22	4-D22	4-D22	2-D22	2-D19	3kaki D13-100	3kaki D13-150	3kaki D13-100

✓ **Balok as D;5.6**

[illegible]

LAMPIRAN E

REKAPITULASI HASIL ANALISA PERHITUNGAN KOLOM

E.1 Data Perencanaan

DATA PERENCANAAN		
TIPE KOLOM	K1	
B KOLOM	1000	mm
H KOLOM	1000	mm
TIPE KOLOM	K2	
B KOLOM	800	mm
H KOLOM	800	mm
KUAT TEKAN BETON (f_c)	40	Mpa
MOD. ELAS.BETON (E_c)	29725,4	MPa
MOD.ELAS.BAJA (E_s)	200000	MPa
f_y lentur	400	MPa
f_y geser	400	MPa
Diameter Tul. Lentur	22	mm
Diameter Tul. Geser	13	mm
Tebal Selimut (p)	40	mm
Spasi Tulangan	40	mm
faktor β_1	0,85	
faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	0,8	
faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	0,75	
d	936	mm
d'	64	mm
d''	436	mm
B 40/70	400	
	700	

E.2 Gaya-Gaya Dalam Pada Kolom

Lantai	PERHITUNGAN GAYA DALAM KOLOM										
	Pu(1,2D+1,6L)	Pu (RSP-X)	Pu(RSP-Y)	Arah X (M2)				Arah Y (M3)			
	kN	kN	kN	M1S(kNm)	M2S(kNm)	M1NS(kNm)	M2NS(kNm)	M1S(kNm)	M2S(kNm)	M1NS(kNm)	M2NS(kNm)
Basement	9371	9793	9655	245	457	18	36	511	740	5	29
1	8520	8962	8828	91	455	43	49	135	569	12	40
2	7686	8124	8000	198	476	5	14	313	466	18	28
3	6894	7336	7223	374	363	18	18	393	430	6	13
4	6167	6585	6481	339	470	14	17	378	446	8	19
5	5503	5882	5793	413	488	21	25	425	432	15	26
6	4852	5189	5112	455	508	22	42	436	425	24	30
7	4209	4502	4436	483	525	70	82	464	426	24	44
8	3462	3755	3696	533	558	71	67	455	392	63	82
9	2833	3067	3015	555	547	74	70	440	360	77	77
10	2210	2387	2341	547	534	60	68	399	326	73	71
11	1641	1754	1712	554	515	96	80	402	307	66	58
12	858	986	953	480	578	37	7	315	108	51	60
13	390	459	495	846	0	27	0	180	0	106	0

E.3 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Kolom

Lantai	Tulangan Aksial dan Lentur			Tulangan Sengkang				
	Jumlah Tulangan	Tulangan/sisi	Diameter	S didalam Lo	S diluar Lo	Diameter	Tulangan Pakai (Lo)	Tulangan Pakai diluar (Lo)
	n	n	mm	mm	mm	mm	mm	mm
BM	36	9	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
1	36	9	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
2	36	9	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
3	36	9	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
4	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
5	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
6	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
7	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
8	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
9	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
10	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
11	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
12	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125
13	28	7	22	100	132	13	4 KAKI D13-100	4 KAKI D13-125

BIODATA PENULIS



Ricko Refanda, lahir di Sidoarjo pada tanggal 11 Juli 1994. Penulis adalah lulusan Diploma III Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang 2015. Penulis aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan diantaranya: Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS: 2012-2013), Unit Kegiatan Mahasiswa – Olah Raga Politeknik Negeri Malang (UKM-OR POLINEMA : 2013). Kemudian melanjutkan jenjang studi Diploma IV Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2016. Email yang dapat dihubungi refandaricko@gmail.com.